

VŠB – Technická univerzita Ostrava
Fakulta strojní
Katedra výrobních strojů a konstruování

Tavící komora plazmové pece
Fusing Chamber of Plasma Furnace

Student:

Bc. Jan Čech

Vedoucí práce:

Ing. Zdeněk Noga, CSc.

Ostrava 2014

Zadání diplomové práce

Student: **Bc. Jan Čech**
Studijní program: N2301 Strojní inženýrství
Studijní obor: 3909T001 Konstrukční a procesní inženýrství
Specializace: 20 Výrobní stroje a zařízení
Téma: **Tavicí komora plazmové pece**
Fusing Chamber of Plasma Furnace

Zásady pro vypracování:

Pro potřebu laboratoří VŠB-TUO navrhnete tavicí komoru laboratorní plazmové pece. Při návrhu vycházejte ze stávajícího provedení zařízení. Pozornost zaměřte na uchycení hořáku ve víku tavicí komory a manipulaci s hořákem během tavby – svislý posun max. 100mm, vychýlení ze svislé polohy 30 stupňů. Teplotu ve sloupci plazmy předpokládejte na úrovni cca 8 000 stupňů K.

Proveďte:

1. Technickou zprávu s popisem funkce navrženého zařízení a potřebnými výpočty ve členění – seznam požadavků, funkční struktura, morfologická matice, orgánová a hrubá stavební struktura.

2. 3D model konstrukčního návrhu zařízení.

3. Výrobní výkresovou dokumentaci tavicí komory s víkem a zařízením umožňujícím manipulaci s hořákem.

Rozsah výtahu z rešerše z Diplomového projektu v textové části práce cca 5str., rozsah výkresové části min. 2A0.

Seznam doporučené odborné literatury:

ČSN 01 6910 *Úprava písemností psaných strojem nebo zpracovaných textovými editory.*

Praha: Český normalizační institut, srpen 1997. 36 s.

ČSN ISO 690 *Bibliografické citace. Obsah, forma a struktura.*

Praha: Český normalizační institut, 1996. 32 s.

HUBKA, V. *Konstrukční nauka.*

Zürich: Heurista, 1995. 105s. ISBN 80-90 1135-0-8.

Zásady pro vypracování diplomové (bakalářské) práce.

FS_SME_05_003 verze: G

LITERÁRNÍ REŠERŠE – zpracovaná v rámci Diplomového projektu.

Formální náležitosti a rozsah diplomové práce stanoví pokyny pro vypracování zveřejněné na webových stránkách fakulty.

Vedoucí diplomové práce: **Ing. Zdeněk Noga, CSc.**

Datum zadání: 13.12.2013

Datum odevzdání: 19.05.2014



doc. Dr. Ing. Ladislav Kovář
vedoucí katedry



doc. Ing. Ivo Hlavatý, Ph.D.
děkan fakulty

Místopřísežné prohlášení studenta

Prohlašuji, že jsem celou diplomovou práci včetně příloh vypracoval samostatně pod vedením vedoucího diplomové práce a uvedl jsem veškeré použité podklady a literaturu.

V Ostravě.....

.....

Podpis studenta

Prohlašuji, že

- jsem byl seznámen s tím, že na moji diplomovou práci se plně vztahuje zákon č. 121/2000 Sb., autorský zákon, zejména § 35 – užití díla v rámci občanských a náboženských obřadů, v rámci školních představení a užití díla školního a § 60 – školní dílo.
- беру на ве́домі́, že Vysoká škola báňská – Technická univerzita Ostrava (dále jen „VŠB-TUO“) má právo nevýdělečně ke své vnitřní potřebě bakalářskou práci užívat (§ 35 odst. 3).
- souhlasím s tím, že diplomová práce bude v elektronické podobě uložena v Ústřední knihovně VŠB-TUO k nahlédnutí a jeden výtisk bude uložen u vedoucího diplomové práce. Souhlasím s tím, že údaje o kvalifikační práci budou zveřejněny v informačním systému VŠB-TUO.
- было́ сже́днано, že s VŠB-TUO, v případě zájmu z její strany, uzavřu licenční smlouvu s oprávněním užít dílo v rozsahu § 12 odst. 4 autorského zákona.
- было́ сже́днано, že užít své dílo – diplomovou práci nebo poskytnout licenci k jejímu využití mohu jen se souhlasem VŠB-TUO, která je oprávněna v takovém případě ode mne požadovat přiměřený příspěvek na úhradu nákladů, které byly VŠB-TUO na vytvoření díla vynaloženy (až do jejich skutečné výše).
- беру на ве́домі́, že odevzdáním své práce souhlasím se zveřejněním své práce podle zákona č. 111/1998 Sb., o vysokých školách a o změně a doplnění dalších zákonů (zákon o vysokých školách), ve znění pozdějších předpisů, bez ohledu na výsledek její obhajoby.

V Ostravě.....

.....

Podpis studenta

Jméno a příjmení autora práce: Bc. Jan Čech

Adresa trvalého pobytu autora práce: Bratříkovice 77, okres Opava, 747 52

Anotace diplomové práce

ČECH, J. *Návrh tavící komory plazmové pece*: diplomová práce. Ostrava: VŠB – Technická univerzita Ostrava, Fakulta strojní, Katedra výrobních strojů a konstruování, 2014, 80 s. Vedoucí práce: Ing. Zdeněk Noga, CSc.

Tato práce rozpracovává téma mechanismu řízení plazmového hořáku. Téma bylo vybráno na základě přímé vazby na praktické využití v univerzitní laboratoři. Po bližším prozkoumání nabídky trhu bylo zjištěno, že nabídka v této oblasti je minimální.

Práce je vyústěním postupného řešení zadaného tématu tak, aby byly splněny všechny jeho požadavky.

Na začátku práce je přesné definování požadavků do požadavkového listu. Následuje stanovení možných funkcí, které mohou sloužit k zajištění těchto požadavků.

Logickým pokračováním je struktura orgánů, které jsou schopny ony funkce realizovat. Morfologická matice pak vybírá čtyři možné varianty řešení, které jsou nastíněny v hrubé stavební struktuře. Vybraná varianta je pak dále rozpracovávána v úplné stavební struktuře, pro kterou je pak vytvořen 3D model a výkresová dokumentace.

Annotation of diploma Thesis

ČECH, J. *Design of Fusing Chamber of Plasma Furnace*: Diploma thesis. Ostrava: VŠB – Technical University of Ostrava, Faculty of Mechanical Engineering, Department of Production Machines and Design, 2014, 80 p. Thesis head: Ing. Zdeněk Noga, CSc.

This work develops topic steering mechanism of the plasma torch. The topic was chosen on the basis of direct links to practical use in a university laboratory. Upon closer examination of the market supply was found to offer in this area is minimal.

The work is the culmination of a gradual solution of a given topic and to meet all its requirements.

At the beginning of work is defining the requirements to requirement sheet. Measurement of the possible functions that can be used to ensure these requirements.

The logical continuation of the structure of the institutions that are able to carry out those functions. Morphological matrix then selects four possible solutions, which are presented on a gross building structure. The option is then further elaborated in the complete building structure to which it is a 3D model and drawings.

Poděkování

Děkuji panu Ing. Zdeňku Nogovi, CSc. za velmi užitečnou a odbornou pomoc, kterou mi poskytl při zpracování mé diplomové práce.

Obsah

1. Úvod	10
2. Rešerše – rozdělení	11
2.1. Princip plazmové technologie	11
2.2. Hermetická těsnost	12
2.3. Vertikální posuv – zdvih	13
2.4. Náklon hořáku	14
2.4.1. Sférická rotace	15
3. Požadavky na provedení	16
4. Požadavkový list	16
4.1. Seznam funkcí	18
4.2. Transformační proces	19
5. Funkční struktura	19
6. Funkční struktura (hierarchický funkční strom)	21
7. ORGÁNOVÁ STRUKTURA	22
7.1. Vybrané varianty - shrnutí	23
7.1.1. Varianta 1	24
7.1.2. Varianta 2	25
7.1.3. Varianta 3	26
7.1.4. Varianta 4	27
7.2. Zhodnocení vybraných návrhů	28
8. Hrubá stavební struktura vybraných variant	29
8.1. Popis principu vybrané varianty 2	29
9. Teorie přenosu tepla	30
9.1. Teplotní bilance plazmové pece	30
9.2. Přenos tepla konvekci a zářením [III]	31
10. Výpočet chlazení stropu pece	32
10.1. Zvolené veličiny	32
10.2. Materiálové vlastnosti	33
10.3. Součinitele přestupu tepla	37
11. Výpočet chlazení víka	40
11.1. Součinitele přestupu tepla	44
12. Výpočet chlazení válcové plochy	47

13.	Základní silová rozvaha.....	52
14.	Výpočet reakčních sil v programu Autodesk Inventor Professional 2013.....	56
14.1.	Zjednodušení modelu sestavy.....	56
14.2.	Definování vazeb a doteků v modelu	57
14.3.	Definování sítě prvků a zatížení modelu.....	58
14.4.	Výsledky z pevnostní analýzy.....	59
14.4.1.	Napětí	59
14.4.2.	Posunutí	60
14.4.3.	Stykové napětí	61
14.4.4.	Reakce ve vazbách	62
15.	Výpočet přítláčných prvků	63
15.1.	Přítláčné válečky.....	63
15.2.	Přítláčné válečky víka	64
16.	Návrh pohonů	66
16.1.	Pohon naklápění hořáku	66
16.2.	Ozubení naklápění hořáku.....	66
16.3.	Pohon otáčení hořáku.....	68
16.4.	Ozubení otáčení hořáku	69
16.5.	Zdvih hořáku.....	70
17.	Úplná stavební struktura.....	71
18.	Technická specifikace.....	72
19.	Závěr.....	72
20.	Seznam použité literatury	73
21.	Seznam obrázků	74
22.	Seznam tabulek	76
23.	Seznam příloh	76

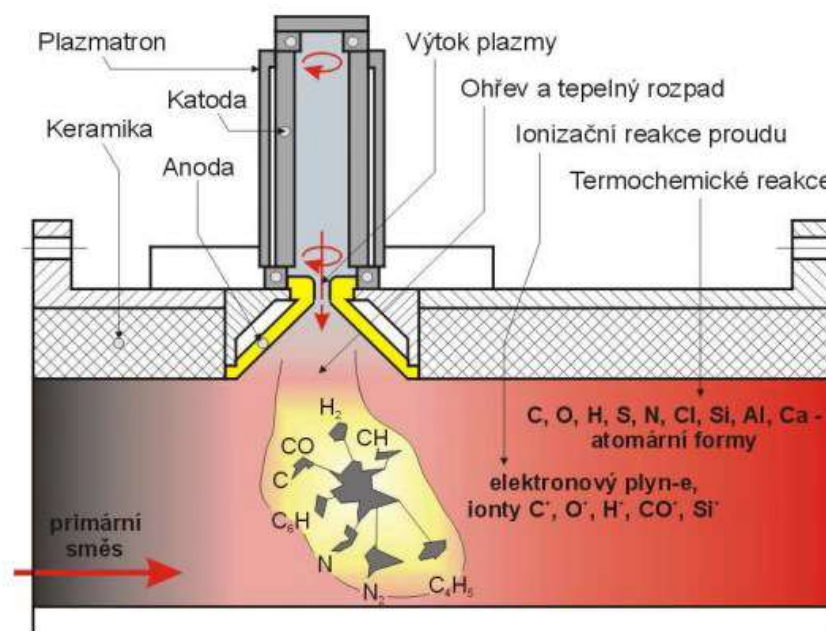
1. Úvod

Diplomová práce se zbývá tématem tavící komory, zaměřený na návrh víka a mechanismu pro ovládání hořáku. Pro efektivnější prohřátí pecního prostoru musí hořák splňovat požadovanou pohyblivost dle zadání. Rešerše se zabývá uvedením do problematiky plazmových pecí. Hrubá stavební struktura rozpracovává 4 varianty řešení. V neposlední řadě je práce zaměřena na výpočet potřebného chlazení vybraných komponent, návrh přítlačných sil a pohonů.

2. Rešerše – rozdělení

2.1. Princip plazmové technologie

Plazma působí přímo na částice uhlí, resp. na směs pohybující se v oblasti pod plazmovým hořákem. Počáteční teplota směsi se pohybuje v rozmezí 60-1000°C. Teplota na výstupu z plazmatronu má teplotu 5000 – 7000 K. Rychlost výtoku plazmy z plazmatronu je cca 200 m.s⁻¹. Fyzikálně chemické transformace uhelného prachu a oksylichovadla s plazmovým zdrojem zahrnují složité procesy různých typů (destrukce paliva, při které dochází k uvolnění těkavých látek, reakce těkavých látek s oksylichovadlem, ohřev koksového zbytku a reakce koksového zbytku s plynnou fází). Při kontaktu proudu plazmy se studenou směsí se současně nahřívá vzduch a uhelné částice. Částice uhlí jsou vystaveny velkému tepelnému šoku, díky kterému se rozpadají až na 1/10 své původní velikosti. Z úlomků částic je uvolňována prchavá hořlavina (CO, CO₂, CH, C₆H₆, N₂, H₂) a komponenty obsahující dusík (pyridin, pyrrol). Následně se v plynné fázi vytvoří atomární formy (O, H, N, C, S), minerální hmoty uhlí (Si, Al, Ca) a radikály (NH, CH, CN, OH). Kromě toho je v plynné fázi přítomný elektronový plyn (e), kladné (C⁺, H⁺, N⁺, CO⁺, O⁺, Si⁺, K⁺) a záporné ionty (O⁻, H⁻, N₂⁻) [1]



Obrázek 1. Princip působení nízkoteplotní plazmy na primární směs [1]

2.2. Hermetická těsnost

Z důvodu zachování ochranné atmosféry v pecním prostoru musíme zajistit nepřístupnost okolního vzduchu. Hermetická těsnost bude zaručena těsněním, které bude umístěno mezi pohyblivou a statickou válcovou plochou. Z podmínky kompatibility dalších funkcí, zejména náklonu, vyplývá, že kontaktní plochy nebo alespoň jedna z nich, musí mít kulovou (válcovou) plochu, která umožní v libovolném náklonu stálý kontakt a tedy i těsnost.

Těsnícími prvky mohou být:

- Silikon (Obr. 2.)
- Technický pryž – O kroužky (Obr. 3.)
- Plstěné těsnění (Obr. 5.)
- Expandovaný grafit (Obr. 4.)



Obrázek 3. Technická pryž, O-kroužky [2]



Obrázek 2. Silikonové těsnění [2]

Pro správnou funkci těsnění je zapotřebí zajisti kontakt v místě těsnícího prvku. Kontakt bude zajištěn přitlakem potřebných komponent.



Obrázek 5. Plstěné těsnění [3]



Obrázek 4. Expandovaný grafit[4]

2.3. Vertikální posuv – zdvih

Jedná se o přímočarý pohyb s nízkým zatížením, ale poměrně s přesným ovládáním.

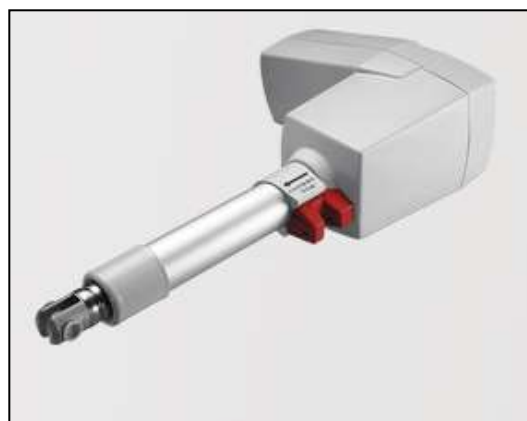
- Elektromotor + ozubený hřeben (Obr. 6.)
- Lineární aktuátor (Obr. 7.)
- Pneumatický pohon (Obr. 8.)
- Hydraulický pohon (Obr. 9.)
- Krokový motor s lineárním posuvem (Obr. 10.)
- Mechanický pohon

Jednou z možných variant je elektromotor, opatřený na výstupní hřídeli ozubeným kolem, které při rotaci posouvá hořák skrze připevněný ozubený hřeben Obr. 6.

Druhou možností je využití lineárního aktuátoru, který se na jednom konci připevní objímkou k hořáku a na druhý k potřebné komponentě Obr. 7.



Obrázek 6. Ozubený hřeben[5]



Obrázek 7. Lineární aktuátor[6]

Varianty s Pneumatiským a Hydraulickým pohonem jsou připevněny obdobně jak při variantě předchozí. Hlavní nevýhodou těchto variant je nižší přesnost ovládaného pohybu a nutnost dalších zařízení pro přípravu pracovních médií (vzduch, olej).



Obrázek 8. Pneumatický válec[7]



Obrázek 9. Hydraulický válec [8]

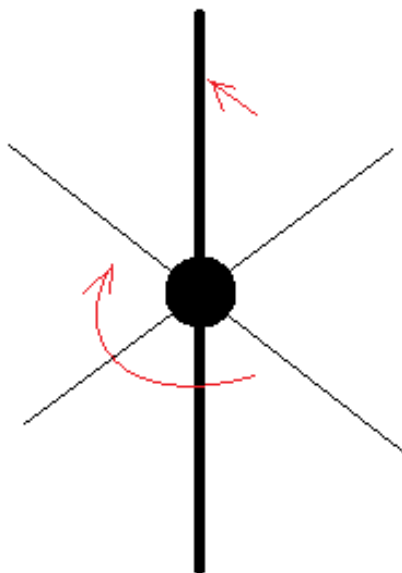


Obrázek 10 Krokový motor s lineárním posuvem [9]

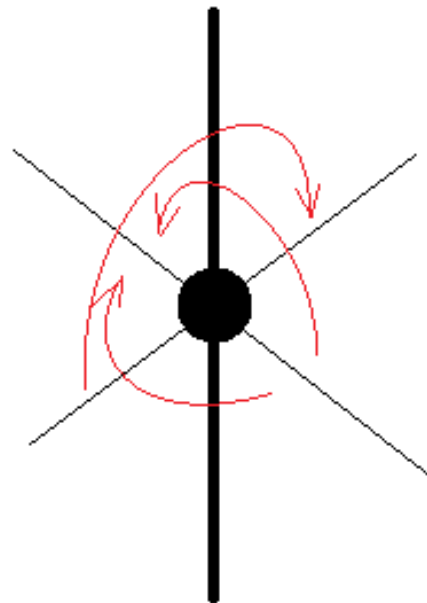
2.4. Náklon hořáku

Vychýlení hořáku od vertikální osy ve tvaru kuželu s vrcholovým úhlem 60° může být zajištěn vícero mechanismy, avšak všechny vychází z možností základních pohybů:

- Natočení + pootočení (Obr. 11.)
- Sférická rotace (Obr. 12.)



Obrázek 11. Schéma natočení + pootočení



Obrázek 12. Schéma sférická rotace

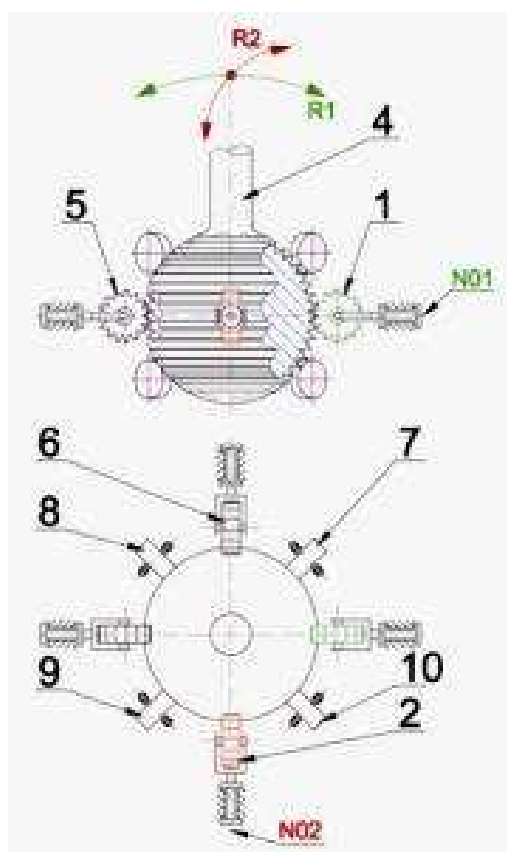
2.4.1. Sférická rotace

Kulový kloub se dvěma stupni volnosti

Obdobným způsobem je možné realizovat i kulový kloub se dvěma stupni volnosti (obr. 4). Kulový kloub je tvořen kulovou plochou opatřenou na svém povrchu jedním ozubením v podobě rovnoběžných obvodových drážek, do nichž zapadají dva hnací pastorky a na protilehlé straně dvě opěrné ozubené kladky.

K osám otáčení hnacích pastorků a ozubených kladek jsou připojeny v kolmém směru čepy otočné podle normály ke kulové ploše v místě záběru. Kulový kloub s alespoň dvěma stupni volnosti nalezne uplatnění ve většině dosavadních konstrukcí, kde jsou rotace řešeny odděleně z důvodu snazšího připojení pohonu. [10]

Rozsahy pohybů: R1: $\pm 20^\circ$, R2: $\pm 20^\circ$, R3: 360° + reverzace. Poznámka: rozsahy pohybů R1 a R2 mohou nabývat i větších hodnot (při změně geometrie kluzných dílů), podle požadavků na dané výstupní zařízení. [10]



Obrázek 13. Kulový kloub se dvěma stupni volnosti [10]



Obrázek 14. Prototyp kulového kloubu[10]

3. Požadavky na provedení

Mechanismus na ovládání hořáku, víko a tavící komora by měl splňovat tyto podmínky:

- Upevnění hořáku
- Hermetická těsnost /těsnící plochy/
 - Těsnící prvky
 - Přítlak pro zajištění těsnosti
- Vertikální posuv hořáku /100 mm/
- Náklon hořáku /30° od vertikální osy/
 - Stabilizace v každé pracovní poloze /zajištění polohy/
- Chlazení
- Přívod elektrické energie

Z důvodu efektivnějšího prohřátí pecního prostoru musí být plazmový hořák polohovatelný, musí umožňovat vertikální zdvih 100 mm a vychýlení od vertikální osy ve tvaru kuželu s vrcholovým úhlem 60°. Tyto pohyby budou řízeny automaticky pomocí ovládání joystickem, případně pomocí naprogramovaných pohybů opakující se v cyklech.

Tavící komora bude hermeticky utěsněna tak, aby bylo zamezeno úniku spalin. Mechanismus bude konstrukčně navržen tak, aby zachycoval klopný moment příslušenství hořáku při jeho naklonění.

Komponenty, které jsou v přímém styku s pecním prostorem, budou chlazeny průtokem vody tak, aby nedocházelo k přehřátí těchto komponent a znehodnocení těsnění.

4. Požadavkový list

DEFINOVÁNÍ POŽADAVKŮ			
PROCES	FUNKCE	PODMÍNKA	PŘÁNÍ
TAVÍCÍ PROCES			
	Hermetická těsnost okolo hořáku	✓	
	Hermetická těsnost pohyblivé (kulové/válcové) plochy	✓	
	Hermetická těsnost mezi víkem a komorou pece	✓	
	Kontrola teploty	✓	

	Regulace chlazení	✓	
	Chlazení víka	✓	
	Chlazení pohyblivé plochy	✓	
	Chlazení hořáku	✓	
	Vstup a výstup chladicí kapaliny	✓	
	Vstupní teplota chladicí kapaliny 16° C	✓	
	Výstupní teplota chladicí kapaliny 40° C	✓	
	Jednoduchá konstrukce		✓
	Vyrobitelnost	✓	
POHYB HOŘÁKU			
	Vertikální posuv hořáku L=100 mm	✓	
	Náklon hořáku od vertikální osy pod úhlem 30°	✓	
	Stabilizace hořáku v každé poloze	✓	
	Jednoduchá konstrukce		✓
PROVOZ			
	Laboratorní podmínky	✓	
	Minimální údržba	✓	
	Žádná údržba		✓
VZHLED			
	Funkční - uspokojivý tvar		✓
	Rozměry konstrukce dle laboratoře	✓	
VYHOTOVENÍ			
	Kusová výroba	✓	
	Sériová výroba		✓
MANIPULACE			
	Stacionární stroj	✓	
ERGONOMIE			
	Stabilita konstrukce	✓	
	Snadná manipulace při výměně komponent		✓
	Bezpečná manipulace v provozu	✓	

Tabulka 1. Požadavkový list

4.1. Seznam funkcí

- Upevnění hořáku
- Upevnění víka k tavící komoře
- Výškový posun hořáku
- Naklopení hořáku
- Těsnění hořáku
- Těsnění víka
- Těsnění pohyblivé (kulové/válcové) plochy
- Regulace rychlosti posuvu, natočení a otáčení hořáku
- Kontrola chladicí kapaliny: a) tlaku, b) rychlosti průtoku
- Kontrola teploty
- Přívod energie k hořáku
- Přívod chladicí kapaliny

4.2. Transformační proces

Schéma zobrazuje „černou skříňku“, která znázorňuje počáteční a koncový stav procesu přeměny.



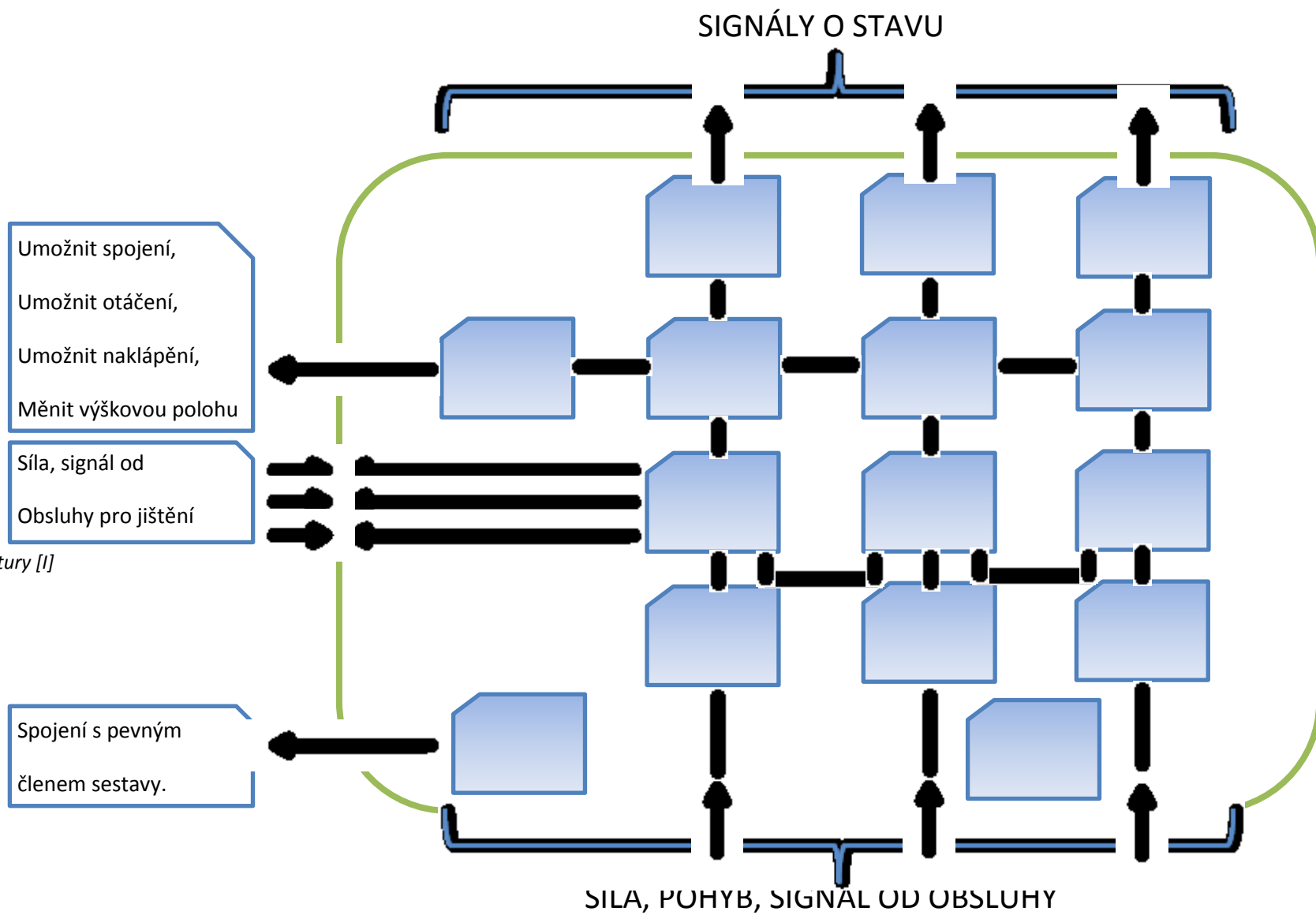
Obrázek 15. Blokové schéma technického procesu [1]



Obrázek 16. Blokové schéma technického procesu [1]

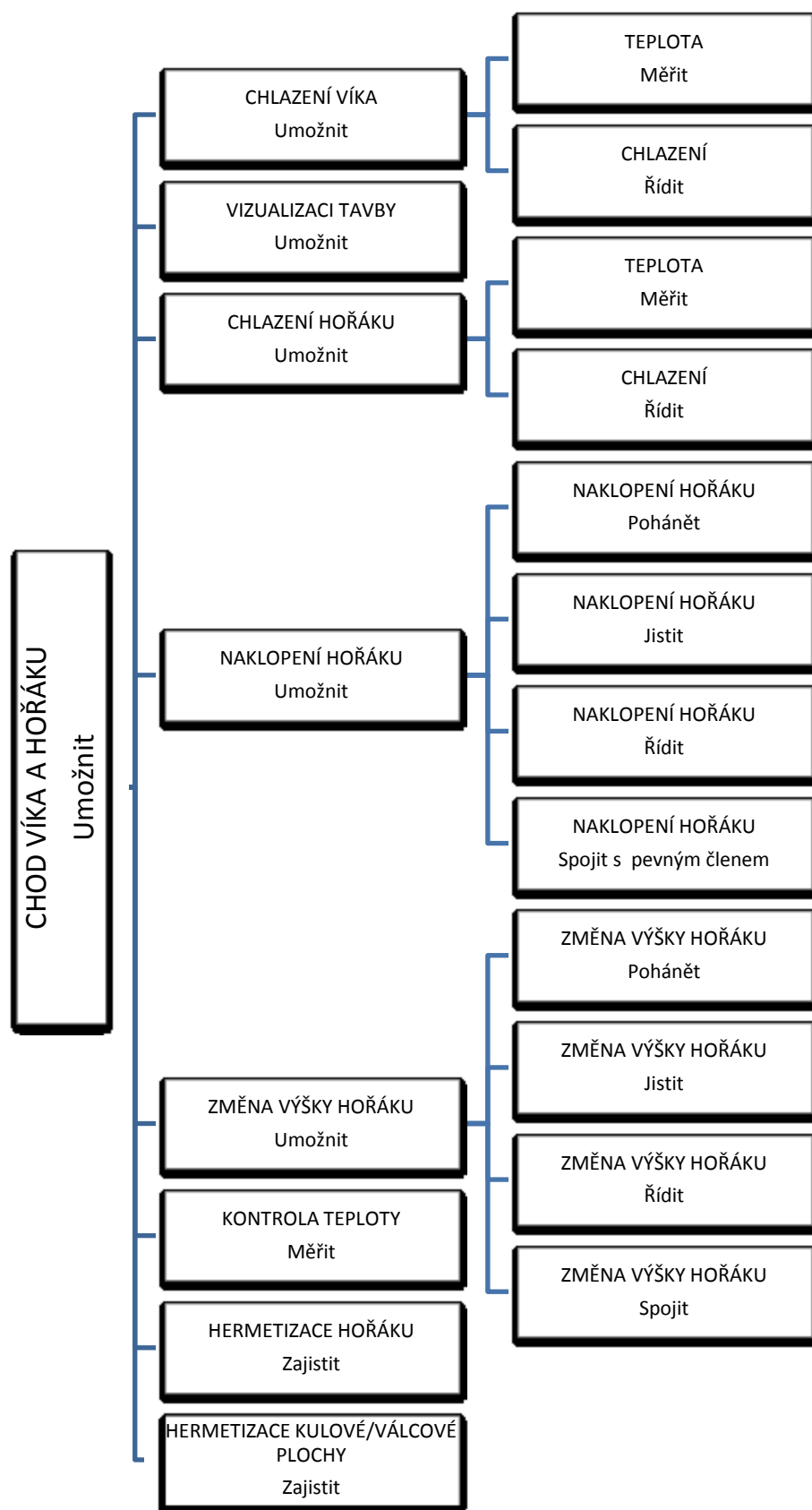
5. Funkční struktura

Funkční struktura znázorňuje pomocí účelových funkcí optimální soustavu funkcí technického systému.



Blokové schéma funkční struktury [1]

6. Funkční struktura (hierarchický funkční strom)







Obrázek 18. Schéma hierarchický funkční strom [1]

7. ORGÁNOVÁ STRUKTURA

Nyní budeme hledat funkční principy účinků a nositele funkcí (orgány) pomocí orgánové struktury. Podmínkou pro výběr daného orgánu je kompatibilita se všemi ostatními orgány v zamýšlené variaci.

DÍLČÍ FUNKCE		NOSITELÉ FUNKCÍ / ORGÁNY			
		1	2	3	4
1	ZMĚNA VÝŠKY HOŘÁKU Pohánět	Ručně	Lineární akuator	Krokový mo	Oz. hřeben + krok. motor
2	ROTAČNÍ POHYB HOŘÁKU - Umožnit	Ručně	Kruhové vedení	lová ploč	
3	ROTAČNÍ POHYB HOŘÁKU - Pohánět	Ručně	Elektromot	Krokový	
4	NÁKLON HOŘÁKU Umožnit	Válcová plocha			
5	NÁKLON HOŘÁKU Pohánět	Krokov motor		Akuator	
6	NÁKLON HOŘÁKU Jistit	krokov motor ozuber			akuator + evné vedení
7	TEPLOTA Měřit	Elektrick,			bilatační
8	CHLAZENÍ HOŘÁKU Umožnit	Nechladit	Vzduch	Voda	Tekutý dusík
9	CHLAZENÍ Řídit	Clona	Škrťící vel		
10	CHLAZENÍ Měřit	Bezkon			
11	HERMETIZACE KULOVÉ/VÁLCOVÉ PLOCHY - Zajistit	O-krouž FKM		Tvarové- kusová ýroba FKM	Silikonové těsnění
12	SPOJENÍ S PECÍ Zajistit	Šroubový spoji		Přítlačné válečky	Rychloupínání
13	ZMĚNA VÝŠKY HOŘÁKU Jistit	Svorka			
14	PŘÍVOD CHLAZENÍ Připojit	Závit	ychlospojka		
15	HERMETIZACE HOŘ. Zajistit	O-kroužek FFPM	-kroužek FE	Silikonové těsnění	

Tabulka 2. Orgánová struktura [1]

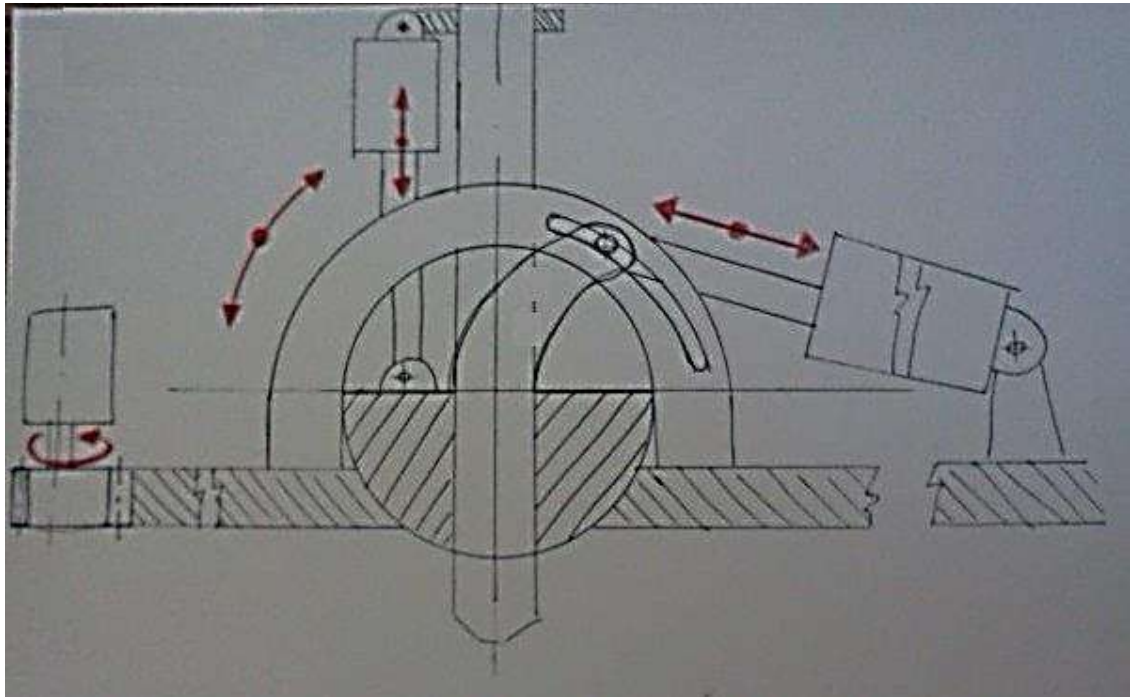
Legenda:  1. Varianta  2. Varianta
 3. Varianta  4. Varianta

7.1. Vybrané varianty - shrnutí

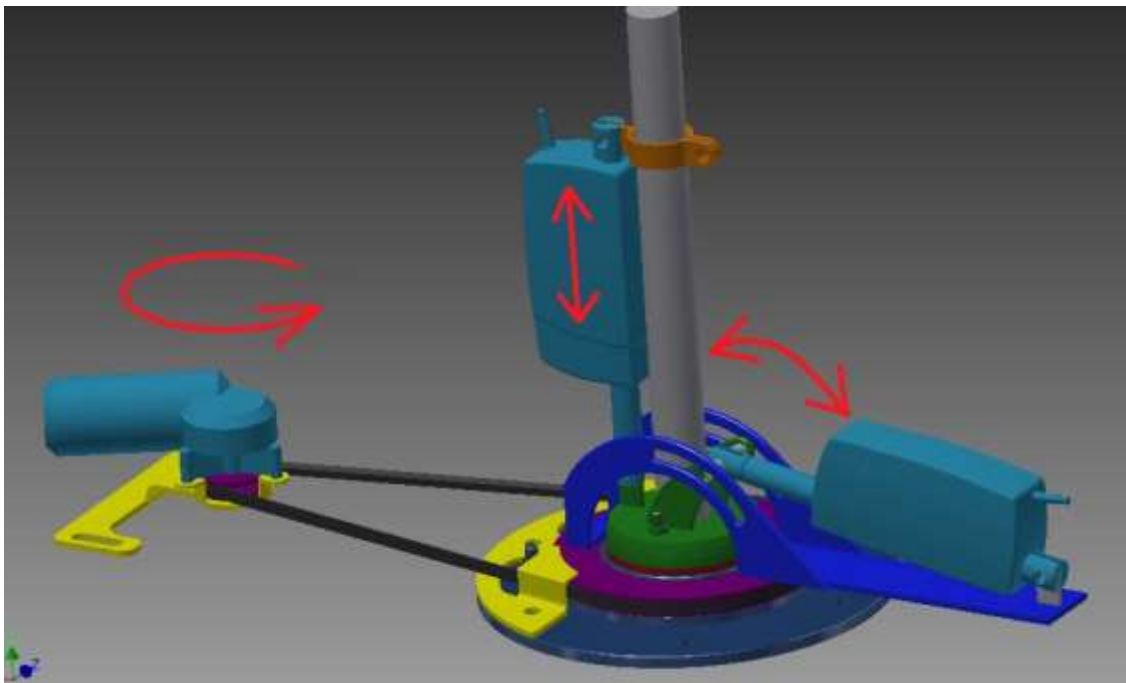
	1. Varianta	2. Varianta	3. Varianta	4. Varianta
1	Lineární akuátor	Krokový motor	Lineární akuátor	Oz. hřeben + krok. motor
2	Kruhové vedení	Kruhové vedení	Kulová plocha	Kulová plocha
3	Krokový motor	Krokový motor	Krokový motor	Krokový motor
4	Kulová plocha	Válcová plocha	Válcová plocha	Kulová plocha
5	Akuátor	Krokový motor	Krokový motor	Krokový motor
6	Motor + pevné vedení	krokový motor + ozubení	krokový motor + ozubení + protizávaží	krokový motor + ozubení
7	Pyrometr	Pyrometr	Pyrometr	Pyrometr
8	Voda	Voda	Voda	Voda
9	Škrtící ventil	Škrtící ventil	Škrtící ventil	Škrtící ventil
10	Bezkontaktní	Bezkontaktní	Bezkontaktní	Bezkontaktní
11	O-kroužek FKM	Tvarové- FKM	O-kroužek FKM	O-kroužek FKM
12	Šroubovými spoji	Přítlačné válečky	Přítlačné válečky	Šroubovými spoji
13	Svorka	Svorka	Svorka	Rychloupínání
14	Závit	Rychlospojka	Rychlospojka	Rychlospojka
15	O-kroužek FFPM	O-kroužek FFPM	O-kroužek FFPM	O-kroužek FFPM

Tabulka 3. Orgánová struktura- shrnutí [I]

7.1.1. Varianta 1

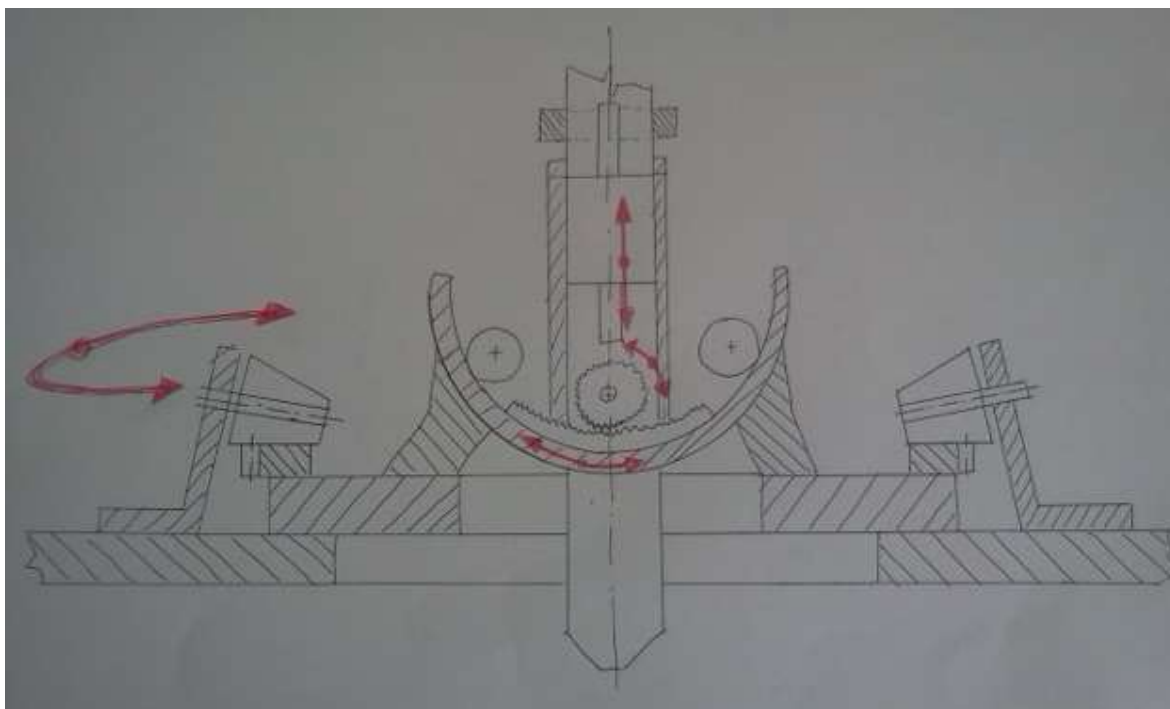


Obrázek 19. Schéma varianty 1

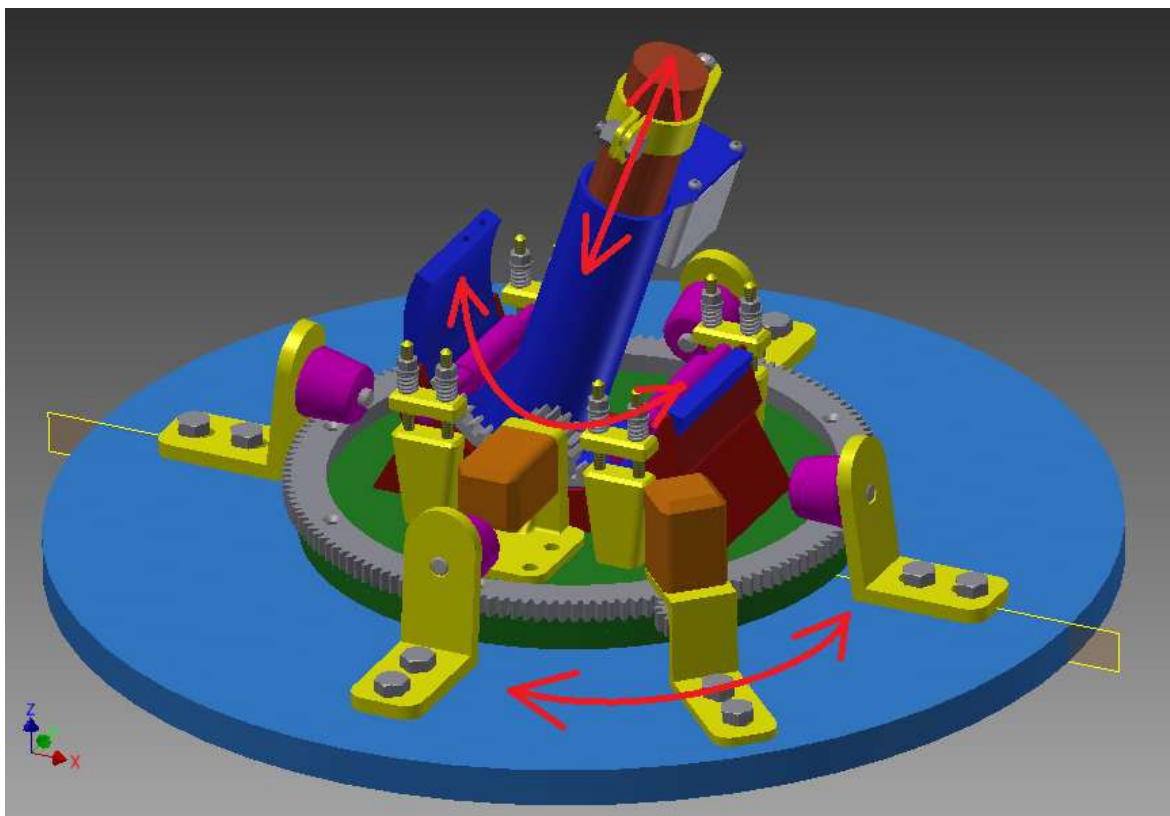


Obrázek 20. Koncept varianty 1 (v programu Autodesk Inventor Professiona 2013)

7.1.2. Varianta 2

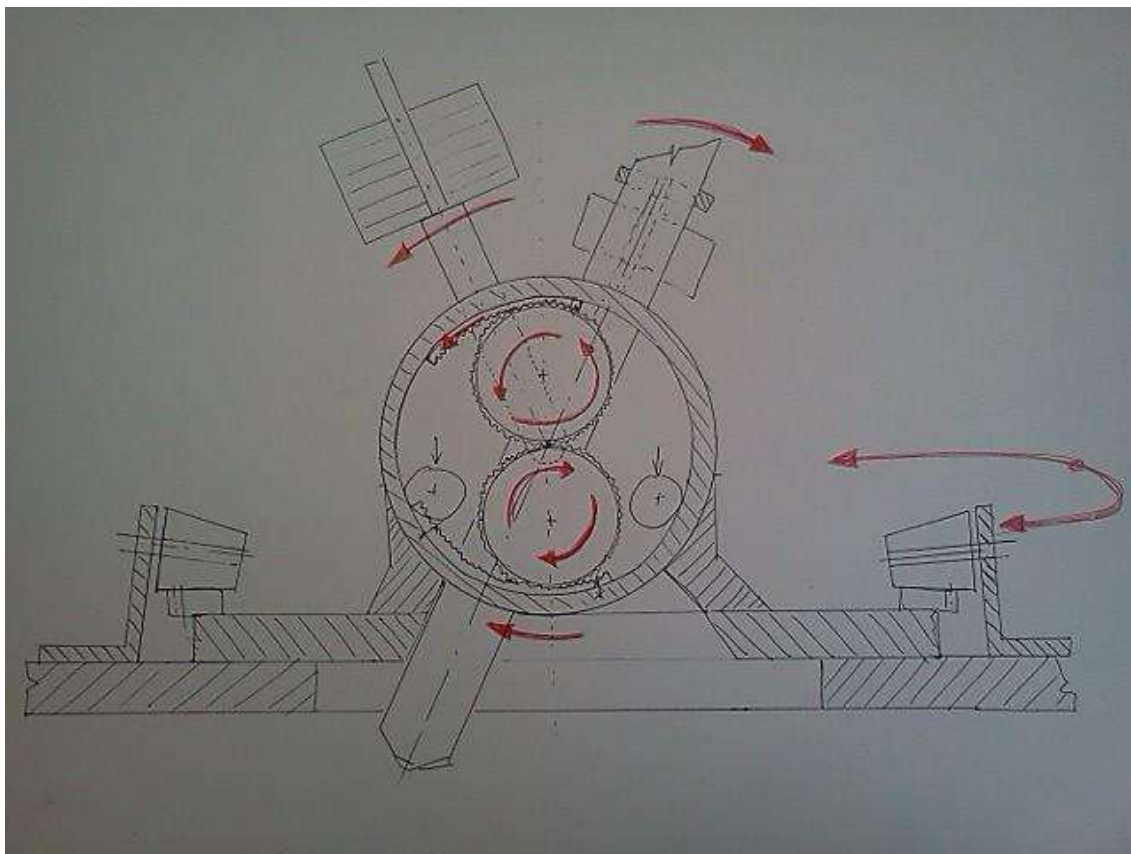


Obrázek 21. Schéma varianty 2

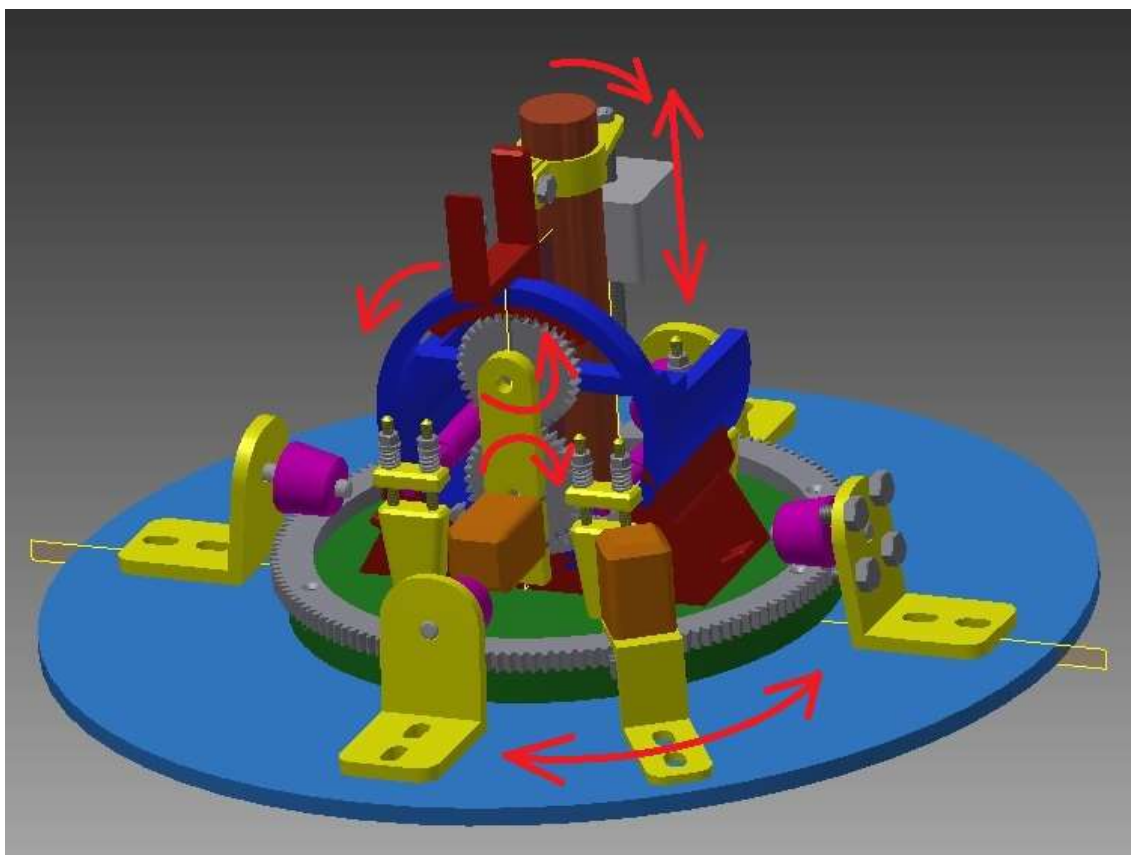


Obrázek 22. Koncept varianty 2 (v programu Autodesk Inventor Professiona 2013)

7.1.3. Varianta 3

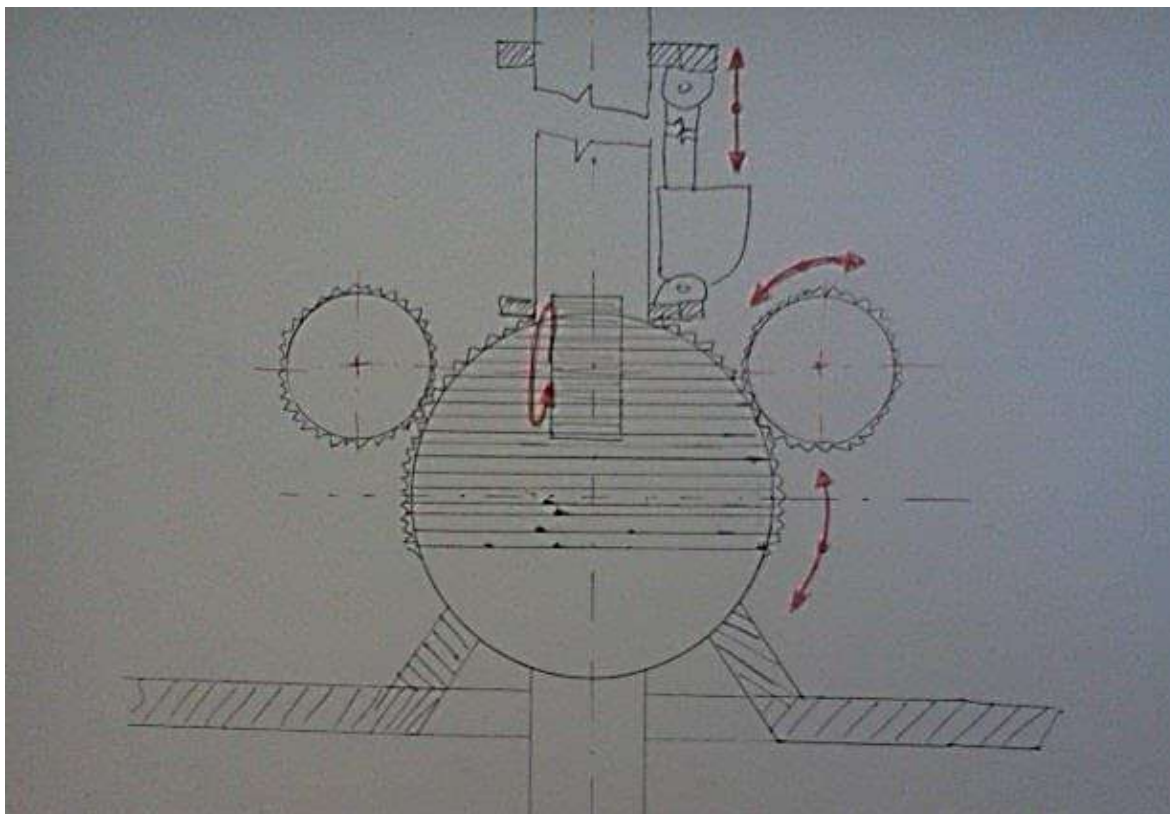


Obrázek 23. Schéma varianty 3

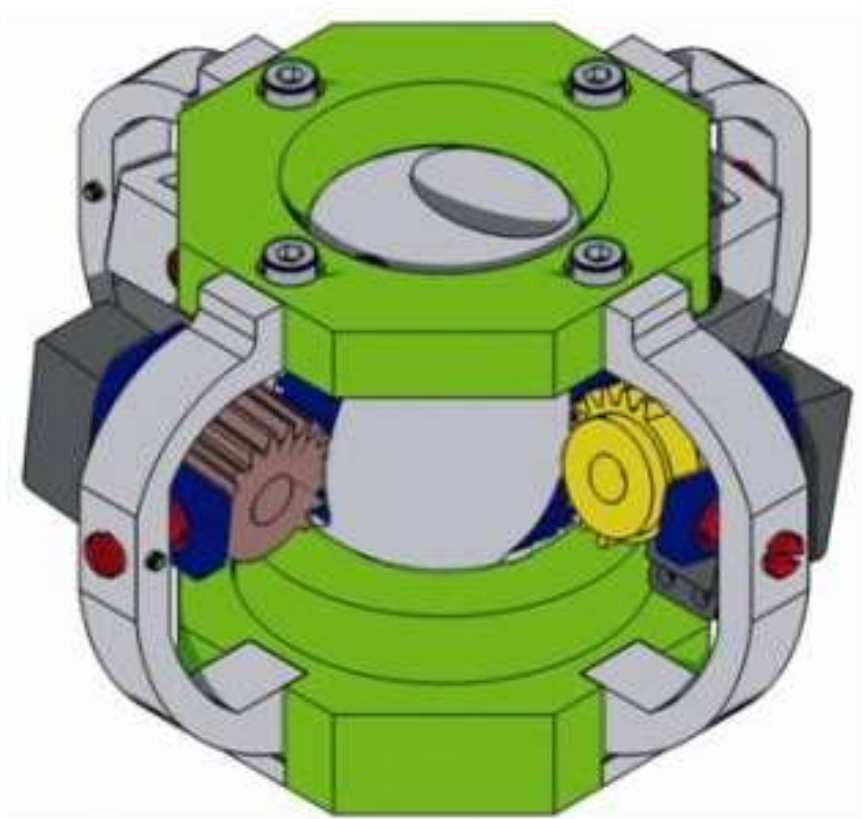


Obrázek 24. Koncept varianty 3 (v programu Autodesk Inventor Professiona 2013)

7.1.4. Varianta 4



Obrázek 25. Schéma varianty 4



Obrázek 26. Model kloubu se dvěma stupni volnosti [10]

7.2. Zhodnocení vybraných návrhů

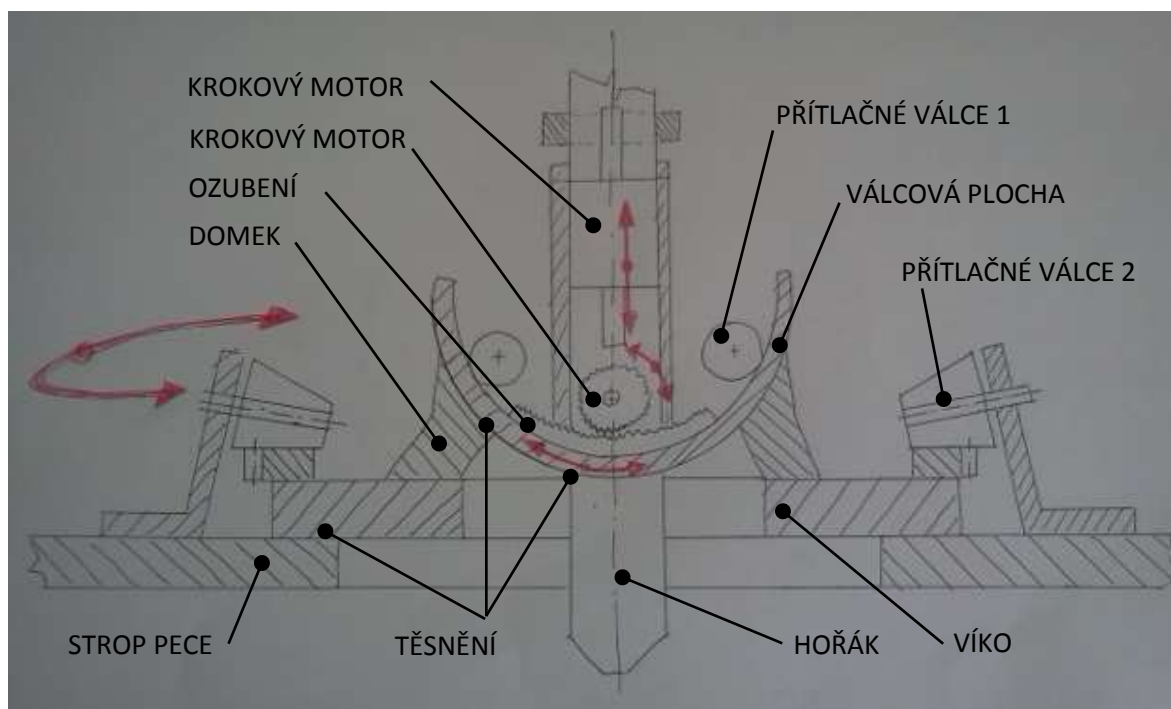
Vybrané varianty jsou posouzeny podle jednotlivých dílčích orgánů / nositelů funkcí. Hodnocení je z bodové škály 1 až 6, přičemž platí, že čím více bodů, tím lepší hodnocení.

Na základě předem stanovených kritérií hodnocení jsem vybral jako nejlepší variantu 2, která obdržela v celkovém počtu 78 bodů.

DÍLČÍ FUNKCE		VARIANTA			
		1	2	3	4
1	ZMĚNA VÝŠKY HOŘÁKU - Pohánět	5	4	5	4
2	ROTAČNÍ POHYB HOŘÁKU - Umožnit	5	5	4	4
3	ROTAČNÍ POHYB HOŘÁKU - Pohánět	6	6	6	6
4	NÁKLON HOŘÁKU - Umožnit	4	5	5	4
5	NÁKLON HOŘÁKU - Pohánět	4	5	5	5
6	NÁKLON HOŘÁKU - Jistit	4	5	3	4
7	TEPLOTA - Měřit	5	5	5	5
8	CHLAZENÍ HOŘÁKU - Umožnit	5	5	5	5
9	CHLAZENÍ - Řídit	6	6	6	6
10	CHLAZENÍ - Měřit	6	6	6	6
11	HERMETIZACE KULOVÉ/VÁLCOVÉ PLOCHY - Zajistit	5	4	5	5
12	SPOJENÍ S PECÍ - Zajistit	6	5	5	6
13	ZMĚNA VÝŠKY HOŘÁKU - Jistit	6	6	6	5
14	PŘÍVOD CHLAZENÍ - Připojit	5	6	6	6
15	HERMETIZACE HOŘÁKU - Zajistit	5	5	5	5
CELKOVÝ POČET BODŮ		77	78	77	76
CELKOVÉ POŘADÍ		3	1	2	4

Tabulka 4. zhodnocení vybraných variant [1]

8. Hrubá stavební struktura vybraných variant



Obrázek 27. Schéma s popisem základních komponent vybrané varianty

8.1. Popis principu vybrané varianty 2

Základním principem vybrané varianty je kombinace dvou základních pohybů a to natočení hořáku a otočení hořáku. Kombinace těchto pohybů zabezpečuje plný požadovaný rozsah.

Víko tavící pece je opatřeno ozubeným věncem, skrze který otáčí celým mechanismem krokový motor. Pomocí přitlačných pryžových válečků je víko přitlačováno ke stropu pece.

Na víko je pevně a hermeticky přivařen domek, který plní funkci přechodové části mezi víkem pece a pohyblivou válcovou částí, která umožňuje náklon hořáku.

Válcová plocha je na své vnitřní straně opatřena ozubením a krokovým motorkem, který zajišťuje náklon hořáku a aretaci v požadované poloze. Z důvodu stabilizace a přitlačení válcové plochy na těsnění, je válcová plocha přitlačována párem přitlačných válečků. Síla, kterou je každý z válečků přitlačován je regulována čtveřicí tlačných pružin, respektive dotažením matic, která tak v jednotlivých pružinách akumulují požadovanou přitlačnou sílu.

Zdvih hořáku je zajištěn lineárním krokovým motorem, který je připevněný přes objímku k hořáku.

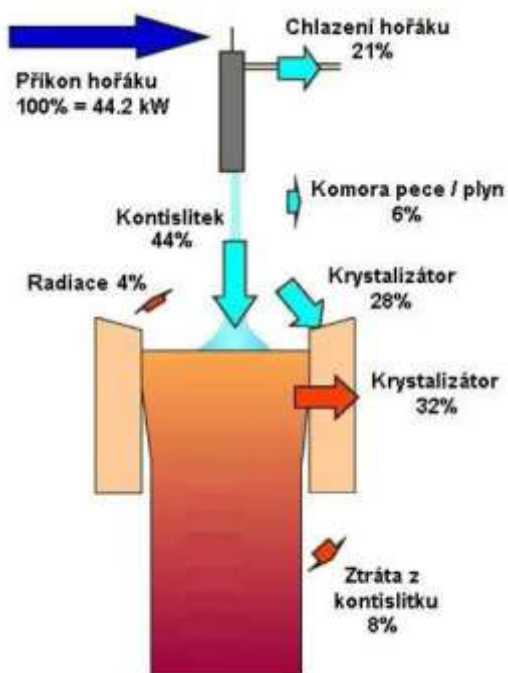
9. Teorie přenosu tepla

9.1. Teplotní bilance plazmové pece

Tepelná bilance plazmové pece o příkonu hořáku 100 kW

Příkon hořáku	Katoda (hořák)		Plášť pece		Anoda		Podstava a dolní prstenec		Střední prstenec		Horní dva prstence		Víko	
kW	kW	%	kW	%	kW	%	kW	kW·m ⁻²	kW	kW·m ⁻²	kW	kW·m ⁻²	kW	kW·m ⁻²
48,2	1,3	2,7	1,7	3,6	26,2	54,8	4,5	6,8	2,9	12,1	5,8	12,1	5,4	17,0
43,0	1,6	3,6	2,0	4,7	25,8	60,5	3,2	4,8	2,1	8,9	4,2	8,8	3,8	11,9
14,2	0,8	5,7	1,3	9,2	8,2	58,2	0,7	1,1	0,5	2,1	1,3	2,7	1,3	4,1

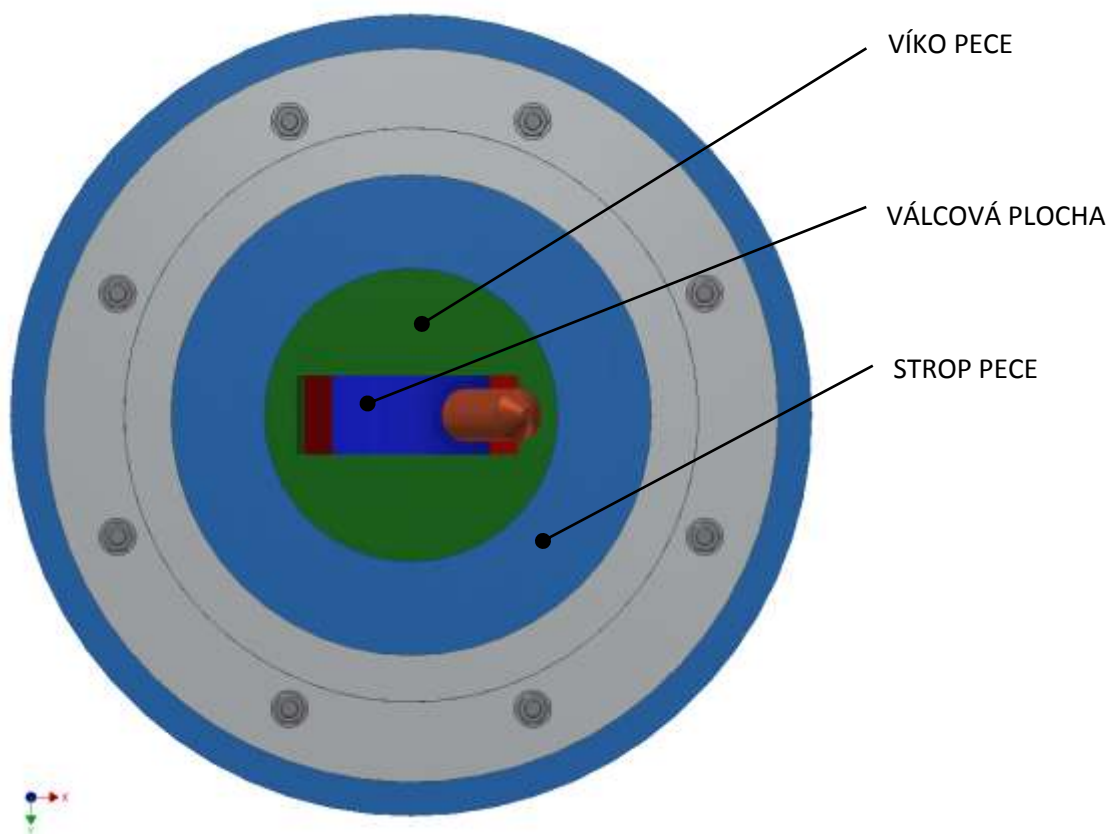
Tabulka 5. Výsledky kolorimetrického měření plazmové pece s plazmovým obloukem stabilizovaným argonem o průtoku 15 l·min⁻¹ [II]



Obrázek 28. Schéma odvodu tepelné energie z pece [II]

Dle obr. 28 jsem zvolil tepelnou energii pod víkem 10% přivedené energie od hořáku. Příkon hořáku jsem volil 60 kW. Celková tepelná energie na spodní plochu víka je 6 kW.

Tepelná energie působí jak na strop pece, spodní plochu víka tak na válcovou plochu. Tepelnou energii jsem určil podle podílu působení na stěny daných prvků. Na strop pece působí 75% ($P_S=4500\text{W}$), na víko působí 20% ($P_V=1200\text{W}$) a na válcovou plochu 5% ($P_{VAL}=300\text{W}$).



Obrázek 29. Schéma ploch vystavených tepelné energii.

9.2. Přenos tepla konvekcí a zářením [III]

Nejdůležitější při návrhu prostoru pro chladicí kapalinu je vypočítat celkový tepelný tok vyzařovaný na spodní stranu víka z pecního prostoru.

Touto problematikou se zabývá Stefan-Boltzmannův zákon a Lambertův zákon. Pro výpočet jsem aplikoval Stefan-Boltzmannův zákon.

Pro celkový tepelný tok P_c konvekcí a zářením platí mezi tělesem a okolním prostředím platí:

$$P_c = P_s + P_v + P_{v\acute{a}l} \quad [\text{W}] \quad (9.1)$$

Kde: P_c ...celkový tepelný tok [W]

P_s ...tepelný tok pod stropem pecního prostoru [W]

P_v ... tepelný tok pod víkem [W]

$P_{v\acute{a}l}$...tepelný tok pod válcovou plochou [W]

Tepelný tok konvekcí

$$P_k = a_k \cdot S_k \cdot (t_p - t_t) \quad [\text{W}] \quad (9.2)$$

Kde: a_k ...součinitel přestupu tepla konvekcí [W]

S_k ...obsah kanálu pro chladicí kapalinu [m²]

t_p ...teplota povrchu tělesa [°C]

t_t ...střední teplota tekutiny [°C]

Tepelný tok zářením

$$P_z = \varepsilon_n \cdot C_o \left[\left(\frac{T_p}{100} \right)^4 - \left(\frac{T_{ok}}{100} \right)^4 \right] \cdot S_p \cdot \varphi_{p,ok} \quad [\text{W}] \quad (9.3)$$

Kde: P_z ... množství tepla sálavého plochou A_1 a dopadající na plochu A_2 [W]

ε_n ...stupeň černosti vzájemného sálání [-]

C_o ... je emisní konstanta absolutně černého tělesa, která je $5,67 \cdot 10^{-8} \text{ W m}^{-2} \text{ K}^{-4}$

T_p a T_{ok} ... Teploty povrchů, mezi nimiž odchází k výměně tepla sáláním [K]

S_p ...obsah spodní plochy víka, na které působí teplo z hořáku [m²]

$\varphi_{p,ok}$...úhlový součinitel osálání [W · m⁻² · K⁻¹]

10. Výpočet chlazení stropu pece

Pro konstrukční návrh chladicího zařízení stropu pece je nejdůležitější znát jeho tepelné zatížení. Pro chlazení jsem zvolil kanálku o tvaru obdélníku, který je vytvořen mezi dvěma plochami, tak že je mezi nimi přistehován svařovací drát o průměru 4 mm. Voda tak bude proudit „hadovitým“ tvarem mezi těmito plochami (obr. 30.)

10.1. Zvolené veličiny

Veličiny	Označení	Hodnota	Jednotka
Tepelná energie stropu pecce	P_s	4500	W
Tepelná energie víka	P_v	1200	W

Teplná energie válcové plochy	$P_{vál}$	300	W
Teplota vody na vstupu	$t_{H2O vstup}$	20	°C
Max. teplota na výstupu	$t_{MAX H2O výstup}$	40	°C
Šířka kanálu chlazení	a_k	0,004	m
Výška kanálu chlazení	b_k	0,025	m
Tloušťka stěny	t	0,008	m

Tabulka 6. Zvolené veličiny

10.2. Materiálové vlastnosti

Hodnoty, nezbytné pro výpočet chlazení jsem čerpal z literatury [III]

Voda při teplotě 20°C

Veličiny	Označení	Hodnota	Jednotka
Hustota	ρ_{H2O}	998,2	$kg \cdot m^{-3}$
Měrná tepelná kapacita	c_{pH2O}	4181,8	$kJ \cdot kg^{-1} \cdot m^{-1}$
Součinitel tepelné vodivosti	λ_{H2O}	0,599	$W \cdot m^{-1} \cdot K^{-1}$

Tabulka 7. Materiálové vlastnosti [12]

Průřez chladicího kanálu [III]

$$S_k = a_k \cdot b_k \quad [m^2] \quad (10.1)$$

$$S_k = 0,004 \cdot 0,020 = 0,00008m^2$$

Kde: a_k ...výška kanálu [m]

b_k ...šířka kanálu [m]

Obsah spodní stěny stropu pece S_s jsem určil dle programu inventor $S_s = 0,06377m^2$

Tepelný tok [III]

$$\phi = \frac{P_s}{S_s} \quad [W \cdot m^{-2}] \quad (10.2)$$

$$\phi = \frac{4500}{0,06377}$$

$$\phi = 70\,566\,W \cdot m^{-2}$$

Hmotnostní tok vody [III]

$$P = m \cdot c_{pH_2O} \cdot \Delta t \Rightarrow m \quad [kg \cdot s^{-1}] \quad (10.3)$$

$$m = \frac{Pv}{c_{pH_2O} \cdot \Delta t} \quad [kg \cdot s^{-1}] \quad (10.4)$$

Kde: c_{pH_2O} ...měrná tepelná kapacita vody za stálého tlaku $[kJ \cdot kg^{-1} \cdot m^{-1}]$

Δt ...teplotní spád vody $[^{\circ}C]$

$$m = \frac{4500}{4181,8 \cdot 6,73}$$

$$m = 0,16 \, kg \cdot s^{-1}$$

Rychlost vody v průřezu kanálu [III]

$$w = \frac{m}{S_k \cdot \rho_{H_2O}} \quad [m \cdot s^{-1}] \quad (10.5)$$

Kde: ρ_{H_2O} ...hustota vody $[kg \cdot m^{-3}]$

$$w = \frac{0,16}{0,00008 \cdot 998,2}$$

$$w = 2 \, m \cdot s^{-1}$$

Vypočítaná hodnota určuje nejnižší rychlost proudění vody v kanálu. Pro výpočet dalších hodnot volím rychlost $w = 2 \, m \cdot s^{-1}$

Vztah pro hydraulický průměr d_h [III]

Hydraulický průměr vyjadřuje charakteristický průměr potrubí. Vztah (10.8) vyjadřuje hydraulický průměr pro obdélníkový průřez.

$$d_h = \frac{4 \cdot S}{O} \quad [m] \quad (10.6)$$

Kde S ...průtočný průřez zaplněný chladicí kapalinou $[m^2]$

O ...obvod chladicího kanálů $[m]$

$$O = 2 \cdot (a_k + b_k) \quad [m] \quad (10.7)$$

Dosazením (10.7) do vztahu (10.6) obdržíme hydraulický průměr d_h

$$d_h = \frac{4 \cdot a_k \cdot b_k}{2 \cdot (a_k + b_k)} = \frac{2 \cdot a_k \cdot b_k}{a_k + b_k} \quad [m] \quad (10.8)$$

$$d_h = \frac{2 \cdot 0,004 \cdot 0,020}{(0,004 + 0,020)}$$

$$d_h = 0,007m$$

Výpočet teplotního rozdílu vody na vstupu a výstupu

Výpočet teplotního rozdílu vody na vstupu a výstupu vychází z bilanční rovnice

$$P = w \cdot S_k \cdot \rho_{H2O} \cdot c_{pH2O} \cdot \Delta t_{H2O} \Rightarrow \Delta t_{H2O} \quad [W] \quad (10.9)$$

Ze vztahu (10.9) si vyjádříme teplotní rozdíl vody Δt_{H2O}

$$\Delta t_{H2O} = \frac{P_1}{w \cdot S_k \cdot \rho_{H2O} \cdot c_{pH2O}} \quad [^{\circ}C] \quad (10.10)$$

$$\Delta t_{H2O} = \frac{4500}{2,0,00008 \cdot 998,2 \cdot 4181,8} \quad [^{\circ}C]$$

$$\Delta t_{H2O} = 6,73^{\circ}C \quad [^{\circ}C]$$

Z výpočtu vyplývá, že voda vstupující s teplotou $t_{H2O \text{ vstup}}$ se po průchodu chladícím kanálem ohřeje o $\Delta t_{H2O} = 6,73^{\circ}C$.

Teplota výstupní chladicí kapaliny

Vycházíme z výpočtu teplotního rozdílu vody.

$$\Delta t_{H_2O} = t_{H_2O \text{ výstup}} - t_{H_2O \text{ vstup}} \quad [^{\circ}\text{C}] \quad (10.11)$$

Kde: $t_{H_2O \text{ vstup}}$...teplota vstupní chladicí vody $[^{\circ}\text{C}]$

$t_{H_2O \text{ výstup}}$...teplota výstupní chladicí vody $[^{\circ}\text{C}]$

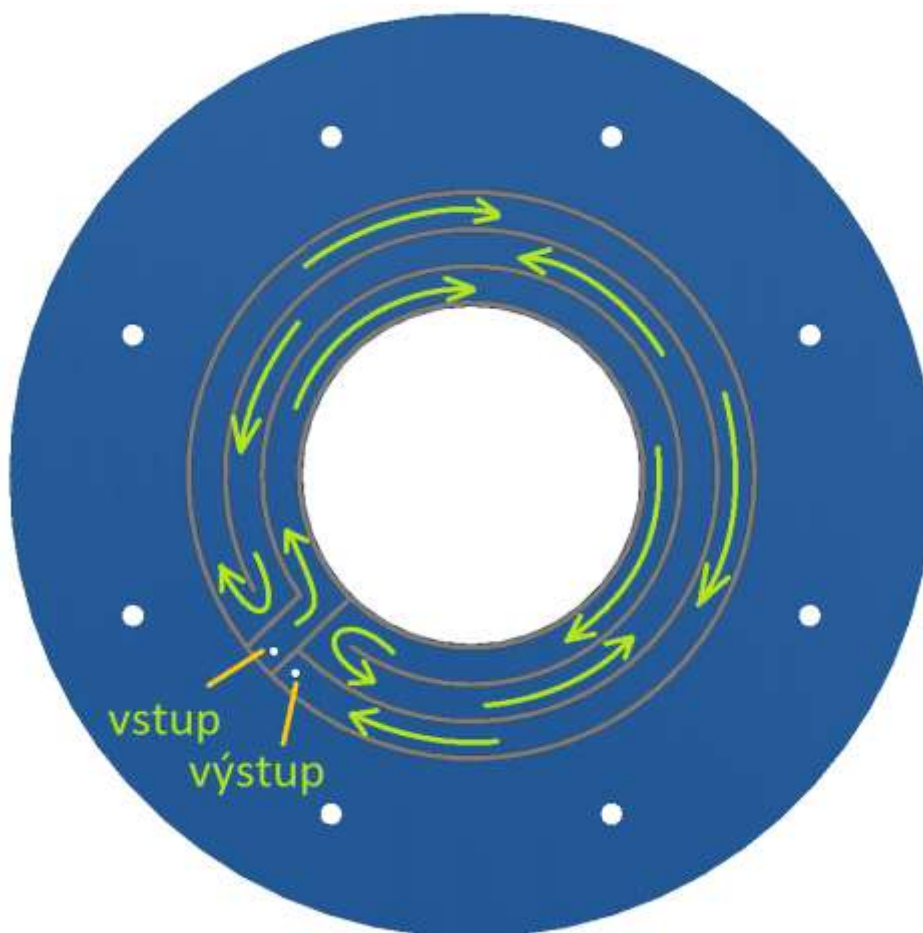
Z rovnice(10.11) si vyjádříme teplotu $t_{H_2O \text{ výstup}}$

$$t_{H_2O \text{ výstup}} = t_{H_2O \text{ vstup}} + \Delta t_{H_2O} \quad [^{\circ}\text{C}] \quad (10.12)$$

$$t_{H_2O \text{ výstup}} = 20 + 6,73$$

$$t_{H_2O \text{ výstup}} = 26,73^{\circ}\text{C}$$

Teplota chladicí kapaliny na výstupu z chladicího kanálu je $26,73^{\circ}\text{C}$. Tedy nepřekročí dovolenou mez 40°C .



Obrázek 30. Schéma kanálu ve stropu pece

Průměrná teplota vody v chladicím kanálu

$$\Delta t_{H_2O \text{ Střední}} = \frac{t_{H_2O \text{ výstup}} + t_{H_2O \text{ vstup}}}{2} \quad [^{\circ}\text{C}] \quad (10.13)$$

$$\Delta t_{H_2O \text{ Střední}} = \frac{20 + 26,73}{2}$$

$$\Delta t_{H_2O \text{ Střední}} = 23,37^{\circ}\text{C}$$

10.3. Součinitele přestupu tepla

Reynoldsovo kritérium [III]

Vliv rychlosti, viskozity vody a hydraulického průměru na součinitel tření lze vyjádřit pomocí Reynoldsova kritéria.

$$Re = \frac{w \cdot d_h}{\nu_{H_2O}} \quad [-] \quad (10.14)$$

Kde: ν_{H_2O} ...kinematická viskozita vody $[m^2 \cdot s^{-1}]$

Přechodová oblast $2300 < Re < 10\,000$

Turbulentní proudění $Re > 10\,000$

$$Re = \frac{2 \cdot 0,007}{1,004 \cdot 10^{-6}}$$

$$Re = 13944,2 \Rightarrow 13944 > 10\,000$$

Z výsledné hodnoty vyplývá, že v chladicím kanálku bude voda působit turbulentním prouděním.

Prandtlovo kritérium [III]

$$Pr = \frac{\nu_{H_2O}}{\alpha_{H_2O}} \quad [-] \quad (10.15)$$

Kde: ν_{H_2O} ...kinematická viskozita vody při 20°C $[m^2 \cdot s^{-1}]$

α_{H_2O} ...součinitel teplotní vodivosti vody při 20°C $[m^2 \cdot s^{-1}]$

$$\nu_{H_2O} = \frac{\eta_{H_2O}}{\rho_{H_2O}} \quad [m^2 \cdot s^{-1}] \quad (10.16)$$

$$v_{H_2O} = \frac{1,002 \cdot 10^{-3}}{998,2}$$

$$v_{H_2O} = 1,0038 \cdot 10^{-6} \text{ m}^2 \cdot \text{s}^{-1}$$

Součinitel teplotní vodivosti [III]

$$\alpha_{H_2O} = \frac{\lambda_{H_2O}}{c_{pH_2O} \cdot \rho_{H_2O}} \quad [\text{m}^2 \cdot \text{s}^{-1}] \quad (10.17)$$

Kde λ_{H_2O} ...součinitel tepelné vodivosti vody při 20°C $[\text{W} \cdot \text{m}^{-1} \cdot \text{K}^{-1}]$

$$\alpha_{H_2O} = \frac{0,599}{4181,8 \cdot 998,2}$$

$$\alpha_{H_2O} = 1,43 \cdot 10^{-7} \text{ W} \cdot \text{m}^{-1} \cdot \text{K}^{-1}$$

Po dopočtení chladících hodnot nyní můžeme vypočítat Prandtlovo kritérium.

$$Pr = \frac{1,0038 \cdot 10^{-6}}{1,43 \cdot 10^{-7}}$$

$$Pr = 7,019 [-]$$

Součinitel přestupu tepla [IV]

Součinitel přestupu tepla α_k se stanoví pomocí kritériálních rovnic. Pro Turbulentní proudění je Nusseltovo kritérium ve vztahu:

$$Nu = \frac{\alpha_k \cdot d_H}{\lambda_{H_2O}} \quad [-] \quad (10.18)$$

Nusseltovo kritérium lze i vyjádřit pro podmínku, že Reynoldsovo kritérium je $Re < 10^6$

$$Nu = 0,023 \cdot Re^{0,8} \cdot Pr^{0,4} \quad [-] \quad (10.19)$$

Rovnici (10.19) dosadíme do rovnice (10.18) a vyjádříme si součinitel přestupu tepla α .

$$\alpha_k = \frac{0,021 \cdot \lambda_{H_2O} \cdot Re^{0,8} \cdot Pr^{0,4}}{d_H} \quad [\text{W} \cdot \text{m}^{-1} \cdot \text{K}^{-1}] \quad (10.20)$$

$$\alpha_k = \frac{0,021 \cdot 0,599 \cdot 13944,2^{0,8} \cdot 7,019^{0,4}}{0,007}$$

$$\alpha_k = 8101,64 [\text{W} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{K}^{-1}]$$

Součinitel emisivity [IV]

Jedno těleso bez vydutých ploch je úplně obklopeno druhým tělesem bez vydutých ploch se rozumí takové těleso, které „nevidí samo na sebe“. Index i je těleso uzavřené, j je těleso uzavírající, do rovnice dosazujeme za plochu S plochu uzavřeného tělesa. [IV]

$$\varepsilon_n = \frac{1}{\frac{1}{\varepsilon_i} + \left(\frac{S_k}{S_s}\right) \cdot \left(\frac{1}{\varepsilon_j - 1}\right)} \quad [-] \quad (10.21)$$

Kde: $\varepsilon_{i,j}$...součinitel poměrné pohltivosti oceli [-]

$$\varepsilon_n = \frac{1}{\frac{1}{0,9} + \left(\frac{0,00008}{0,06377}\right) \cdot \left(\frac{1}{0,9 - 1}\right)}$$

$$\varepsilon_n = 0,89 [-]$$

Součinitel přestupu tepla zářením α_z [III]

$$\alpha_z = \frac{\varepsilon_n \cdot Co \left[\left(\frac{T_p}{100} \right)^4 - \left(\frac{T_{ok}}{100} \right)^4 \right]}{[t_p - t_{ok}]} \quad [W \cdot m^{-2} \cdot K^{-1}] \quad (10.22)$$

Kde: T_p ...teplota stěny víka [°C]

T_{ok} ...střední teplota vody [°C]

$$\alpha_z = \frac{0,95 \cdot 0,56 \left[\left(\frac{294,15}{100} \right)^4 - \left(\frac{300,88}{100} \right)^4 \right]}{[300,88 - 294,15]}$$

$$\alpha_z = 0,53 W \cdot m^{-2} \cdot K^{-1}$$

Celkový Součinitel přestupu tepla α_c [III]

Ze vztahu (10.23) zjistíme celkový součinitel přestupu tepla α_c součtem přestupu tepla konvencí a zářením.

$$\alpha_c = \alpha_k + \alpha_z \quad [W \cdot m^{-2} \cdot K^{-1}] \quad (10.23)$$

$$\alpha_c = 8101,64 + 0,53$$

$$\alpha_c = 8102,17 W \cdot m^{-2} \cdot K^{-1}$$

Výpočet teploty stěny víka t_2 [IV]

Délku kanálu jsem určil dle programu inventor $L_k=2,73\text{m}$

$$\Delta t = t_2 - t_{H_2O \text{ střední}} \quad [^\circ\text{C}] \quad (10.24)$$

Kde: t_2 ...teplota vnitřního povrchu stěny $[^\circ\text{C}]$

$t_{H_2O \text{ střední}}$...střední teplota vody $[^\circ\text{C}]$

$$\Delta t = \frac{P_s}{\alpha_c \cdot ((a_k + b_k) \cdot 2) \cdot L_k} - t_{H_2O \text{ střední}} \quad [^\circ\text{C}] \quad (10.25)$$

Ze vztahu (10.24) si vyjádříme teplotu t_2 a dosadíme do vztahu (10.25)

$$t = \frac{P_c}{\alpha_c \cdot ((a_k + b_k) \cdot 2) \cdot L_k} + \frac{t_{H_2O \text{ vstup}} + t_{H_2O \text{ výstup}}}{2} \quad [^\circ\text{C}] \quad (10.26)$$

$$t = \frac{4500}{8102,17 \cdot ((0,004 + 0,020) \cdot 2) \cdot 2,73} + \frac{20 + 26,73}{2}$$

$$t = 27,6^\circ\text{C}$$

Teplota stěny víka bude $27,6^\circ\text{C}$

11. Výpočet chlazení víka

Pro konstrukční návrh chladicího zařízení víka je nejdůležitější znát jeho tepelné zatížení. Pro chlazení jsem zvolil kanálku o tvaru obdélníku, který je vytvořen mezi dvěma plochami, tak že je mezi nimi přistehován svařovací drát o průměru 4 mm. Voda tak bude proudit „hadovitým“ tvarem mezi těmito plochami (viz obr. 29.)

Průřez chladicího kanálu [III]

$$S_k = a_k \cdot b_k \quad [\text{m}^2] \quad (11.1)$$

$$S_k = 0,004 \cdot 0,025 = 0,0001\text{m}^2$$

Kde: a_k ...výška kanálu $[\text{m}]$

b_k ...šířka kanálu $[\text{m}]$

Obsah spodní stěny víka S_v jsem určil dle programu inventor $S_v = 0,0158\text{m}^2$

Tepelný tok [III]

$$\dot{Q} = \frac{Pv}{S_v} \quad [W \cdot m^{-2}] \quad (11.2)$$

$$\dot{Q} = \frac{1200}{0,0158}$$

$$\dot{Q} = 75\,949 \, W \cdot m^{-2}$$

Hmotnostní tok vody [III]

Vychází ze vzorce $P = m \cdot c_{pH_2O} \cdot \Delta t \Rightarrow m$ $[kg \cdot s^{-1}]$ (11.3)

$$m = \frac{Pv}{c_{pH_2O} \cdot \Delta t} \quad [kg \cdot s^{-1}] \quad (11.4)$$

Kde: c_{pH_2O} ...měrná tepelná kapacita vody za stálého tlaku $[kJ \cdot kg^{-1} \cdot m^{-1}]$

Δt ...teplotní spád vody $[^{\circ}C]$

$$m = \frac{1200}{4181,8 \cdot 1,44}$$

$$m = 0,2 \, kg \cdot s^{-1}$$

Rychlost vody v průřezu kanálu [III]

$$w = \frac{m}{S_k \cdot \rho_{H_2O}} \quad [m \cdot s^{-1}] \quad (11.5)$$

Kde: ρ_{H_2O} ...hustota vody $[kg \cdot m^{-3}]$

$$w = \frac{0,2}{0,0001 \cdot 998,2}$$

$$w = 2 \, m \cdot s^{-1}$$

Vypočítaná hodnota určuje nejnižší rychlost proudění vody v kanálu. Pro výpočet dalších hodnot volím rychlost $w = 2 \, m \cdot s^{-1}$

Vztah pro hydraulický průměr d_h [III]

Hydraulický průměr vyjadřuje charakteristický průměr potrubí. Vztah (10.8) vyjadřuje hydraulický průměr pro obdélníkový průřez.

$$d_h = \frac{4 \cdot S}{o} \quad [m] \quad (11.6)$$

Kde S ...průtočný průřez zaplněný chladicí kapalinou $[m^2]$

O ...obvod chladicího kanálu $[m]$

$$O = 2 \cdot (a_k + b_k) \quad [m] \quad (11.7)$$

Dosazením (11.7) do vztahu (11.6) obdržíme hydraulický průměr d_h

$$d_h = \frac{4 \cdot a_k \cdot b_k}{2 \cdot (a_k + b_k)} = \frac{2 \cdot a_k \cdot b_k}{a_k + b_k} \quad [m] \quad (11.8)$$

$$d_h = \frac{2 \cdot 0,004 \cdot 0,025}{(0,004 + 0,025)}$$

$$d_h = 0,008m$$

Výpočet teplotního rozdílu vody na vstupu a výstupu

Výpočet teplotního rozdílu vody na vstupu a výstupu vychází z bilanční rovnice

$$P = w \cdot S_k \cdot \rho_{H2O} \cdot c_{pH2O} \cdot \Delta t_{H2O} \Rightarrow \Delta t_{H2O} \quad [W] \quad (11.9)$$

Ze vztahu (11.9) si vyjádříme teplotní rozdíl vody Δt_{H2O}

$$\Delta t_{H2O} = \frac{P_1}{w \cdot S_k \cdot \rho_{H2O} \cdot c_{pH2O}} \quad [^{\circ}C] \quad (11.10)$$

$$\Delta t_{H2O} = \frac{1200}{2,0,0001 \cdot 998,2 \cdot 4181,8} \quad [^{\circ}C]$$

$$\Delta t_{H2O} = 1,44^{\circ}C \quad [^{\circ}C]$$

Z výpočtu vyplývá, že voda vstupující s teplotou $t_{H2O \text{ vstup}}$ se po průchodu chladícím kanálem ohřeje o $\Delta t_{H2O} = 1,44^{\circ}C$.

Teplota výstupní chladicí kapaliny

Vycházíme z výpočtu teplotního rozdílu vody.

$$\Delta t_{H2O} = t_{H2O \text{ výstup}} - t_{H2O \text{ vstup}} \quad [^{\circ}\text{C}] \quad (11.11)$$

Kde: $t_{H2O \text{ vstup}}$...teplota vstupní chladicí vody $[^{\circ}\text{C}]$

$t_{H2O \text{ výstup}}$...teplota výstupní chladicí vody $[^{\circ}\text{C}]$

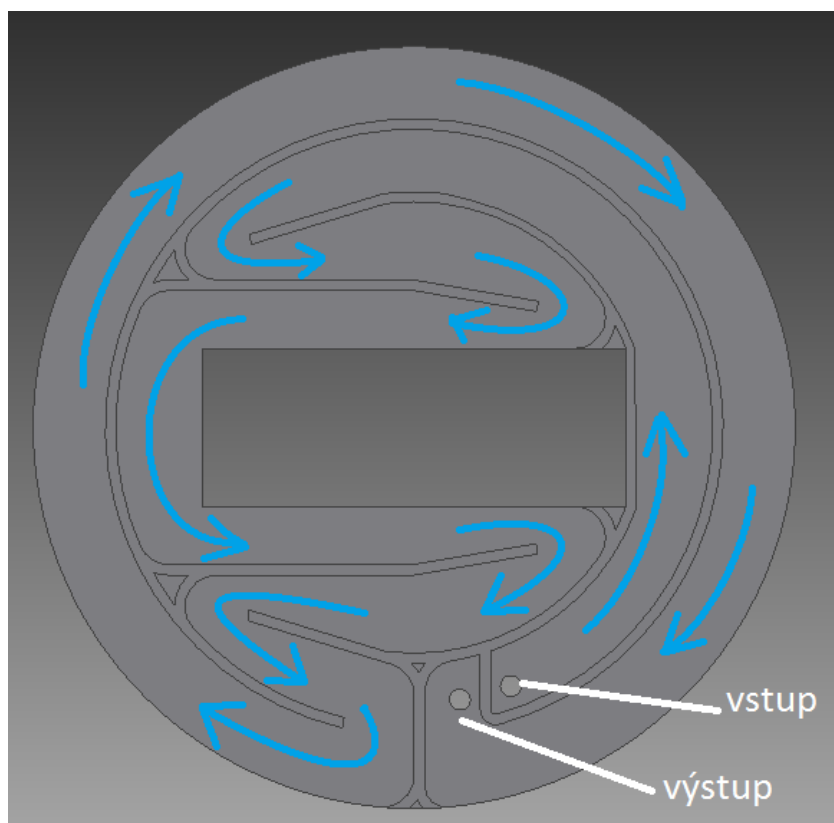
Z rovnice(10.11) si vyjádříme teplotu $t_{H2O \text{ výstup}}$

$$t_{H2O \text{ výstup}} = t_{H2O \text{ vstup}} + \Delta t_{H2O} \quad [^{\circ}\text{C}] \quad (11.12)$$

$$t_{H2O \text{ výstup}} = 20 + 1,44$$

$$t_{H2O \text{ výstup}} = 21,44^{\circ}\text{C}$$

Teplota chladicí kapaliny na výstupu z chladicího kanálu je $21,44^{\circ}\text{C}$. Tedy nepřekročí dovolenou mez 40°C .



Obrázek 31. Schéma kanálu ve víku

Průměrná teplota vody v chladicím kanálu

$$\Delta t_{H_2O \text{ Střední}} = \frac{t_{H_2O \text{ výstup}} + t_{H_2O \text{ vstup}}}{2} \quad [^{\circ}\text{C}] \quad (11.13)$$

$$\Delta t_{H_2O \text{ Střední}} = \frac{20 + 21,44}{2}$$

$$\Delta t_{H_2O \text{ Střední}} = 20,72^{\circ}\text{C}$$

11.1. Součinitele přestupu tepla

Reynoldsovo kritérium [III]

Vliv rychlosti, viskozity vody a hydraulického průměru na součinitel tření lze vyjádřit pomocí Reynoldsova kritéria.

$$Re = \frac{w \cdot d_h}{\nu_{H_2O}} \quad [-] \quad (10.14)$$

Kde: ν_{H_2O} ...kinematická viskozita vody $[m^2 \cdot s^{-1}]$

Přechodová oblast $2300 < Re < 10\,000$

Turbulentní proudění $Re > 10\,000$

$$Re = \frac{2 \cdot 0,008}{1,004 \cdot 10^{-6}}$$

$$Re = 15\,936,25 \Rightarrow 15\,936 > 10\,000$$

Z výsledné hodnoty vyplývá, že v chladicím kanálku bude voda působit turbulentním prouděním.

Prandtlovo kritérium [III]

$$Pr = \frac{\nu_{H_2O}}{\alpha_{H_2O}} \quad [-] \quad (11.15)$$

Kde: ν_{H_2O} ...kinematická viskozita vody při 20°C $[m^2 \cdot s^{-1}]$

α_{H_2O} ...součinitel teplotní vodivosti vody při 20°C $[m^2 \cdot s^{-1}]$

$$\nu_{H_2O} = \frac{\eta_{H_2O}}{\rho_{H_2O}} \quad [m^2 \cdot s^{-1}] \quad (11.16)$$

$$v_{H_2O} = \frac{1,002 \cdot 10^{-3}}{998,2}$$

$$v_{H_2O} = 1,0038 \cdot 10^{-6} \text{ m}^2 \cdot \text{s}^{-1}$$

Součinitel teplotní vodivosti [III]

$$\alpha_{H_2O} = \frac{\lambda_{H_2O}}{c_{pH_2O} \cdot \rho_{H_2O}} \quad [\text{m}^2 \cdot \text{s}^{-1}] \quad (11.17)$$

Kde λ_{H_2O} ...součinitel tepelné vodivosti vody při 20°C $[\text{W} \cdot \text{m}^{-1} \cdot \text{K}^{-1}]$

$$\alpha_{H_2O} = \frac{0,599}{4181,8 \cdot 998,2}$$

$$\alpha_{H_2O} = 1,43 \cdot 10^{-7} \text{ W} \cdot \text{m}^{-1} \cdot \text{K}^{-1}$$

Po dopočtení chladících hodnot nyní můžeme vypočítat Prandtlovo kritérium.

$$Pr = \frac{1,0038 \cdot 10^{-6}}{1,43 \cdot 10^{-7}}$$

$$Pr = 7,019 [-]$$

Součinitel přestupu tepla [IV]

Součinitel přestupu tepla α_k se stanoví pomocí kritériálních rovnic. Pro Turbulentní proudění je Nusseltovo kritérium ve vztahu:

$$Nu = \frac{\alpha_k \cdot d_H}{\lambda_{H_2O}} \quad [-] \quad (11.18)$$

Nusseltovo kritérium lze i vyjádřit pro podmínku, že Reynoldsovo kritérium je $Re < 10^6$

$$Nu = 0,023 \cdot Re^{0,8} \cdot Pr^{0,4} \quad [-] \quad (11.19)$$

Rovnici (10.19) dosadíme do rovnice (10.18) a vyjádříme si součinitel přestupu tepla α .

$$\alpha_k = \frac{0,021 \cdot \lambda_{H_2O} \cdot Re^{0,8} \cdot Pr^{0,4}}{d_H} \quad [\text{W} \cdot \text{m}^{-1} \cdot \text{K}^{-1}] \quad (11.20)$$

$$\alpha_k = \frac{0,021 \cdot 0,599 \cdot 15936,25^{0,8} \cdot 7,019^{0,4}}{0,008}$$

$$\alpha_k = 8638,3 [\text{W} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{K}^{-1}]$$

Součinitel emisivity [IV]

Jedno těleso bez vydutých ploch je úplně obklopeno druhým tělesem bez vydutých ploch se rozumí takové těleso, které „nevidí samo na sebe“. Index i je těleso uzavřené, j je těleso uzavírající, do rovnice dosazujeme za plochu S plochu uzavřeného tělesa. [III]

$$\varepsilon_n = \frac{1}{\frac{1}{\varepsilon_i} + \left(\frac{S_k}{S_v}\right) \cdot \left(\frac{1}{\varepsilon_j - 1}\right)} \quad [-] \quad (11.21)$$

Kde: $\varepsilon_{i,j}$...součinitel poměrné pohltivosti oceli [-]

$$\varepsilon_n = \frac{1}{\frac{1}{0,9} + \left(\frac{0,00096}{0,15834}\right) \cdot \left(\frac{1}{0,9 - 1}\right)}$$

$$\varepsilon_n = 0,95 [-]$$

Součinitel přestupu tepla zářením α_z [III]

$$\alpha_z = \frac{\varepsilon_n \cdot Co \left[\left(\frac{T_p}{100} \right)^4 - \left(\frac{T_{ok}}{100} \right)^4 \right]}{[t_p - t_{ok}]} \quad [W \cdot m^{-2} \cdot K^{-1}] \quad (11.22)$$

Kde: T_p ...teplota stěny víka [°C]

T_{ok} ...střední teplota vody [°C]

$$\alpha_z = \frac{0,95 \cdot 0,56 \left[\left(\frac{294,15}{100} \right)^4 - \left(\frac{294,87}{100} \right)^4 \right]}{[294,87 - 294,15]}$$

$$\alpha_z = 0,54 W \cdot m^{-2} \cdot K^{-1}$$

Celkový Součinitel přestupu tepla α_c [III]

Ze vztahu (10.23) zjistíme celkový součinitel přestupu tepla α_c součtem přestupu tepla konvencí a zářením.

$$\alpha_c = \alpha_k + \alpha_z \quad [W \cdot m^{-2} \cdot K^{-1}] \quad (11.23)$$

$$\alpha_c = 8638,3 + 0,54$$

$$\alpha_c = 8638,84 W \cdot m^{-2} \cdot K^{-1}$$

Výpočet teploty stěny víka t_2 [IV]

Délku kanálu jsem určil dle programu inventor $L_k=1,83\text{m}$

$$\Delta t = t_2 - t_{H_2O \text{ Střední}} \quad [^\circ\text{C}] \quad (11.24)$$

Kde: t_2 ...teplota vnitřního povrchu stěny $[^\circ\text{C}]$

$t_{H_2O \text{ Střední}}$...střední teplota vody $[^\circ\text{C}]$

$$\Delta t = \frac{P_v}{\alpha_c \cdot ((a_k + b_k) \cdot 2) \cdot L_k} - t_{H_2O \text{ Střední}} \quad [^\circ\text{C}] \quad (11.25)$$

Ze vztahu (10.24) si vyjádříme teplotu t_2 a dosadíme do vztahu (10.25)

$$t = \frac{P_c}{\alpha_c \cdot ((a_k + b_k) \cdot 2) \cdot L_k} + \frac{t_{H_2O \text{ vstup}} + t_{H_2O \text{ výstup}}}{2} \quad [^\circ\text{C}] \quad (11.26)$$

$$t = \frac{1200}{8638,84 \cdot ((0,004 + 0,025) \cdot 2) \cdot 1,836} + \frac{20 + 21,44}{2}$$

$$t = 22,03^\circ\text{C}$$

Teplota stěny víka bude $22,03^\circ\text{C}$

12. Výpočet chlazení válcové plochy

Působením tepelného toku na válcovou plochu v tavící komoře je potřeba zajistit její chlazení. Pro chlazení jsem zvolil kanálku o tvaru obdélníku, který je vytvořen mezi dvěma plochami, tak že je mezi nimi přistehován svařovací drát o průměru 4 mm. Voda tak bude proudit „hadovitým“ tvarem mezi těmito plochami (viz. Obr. 30)

Tepelný tok na spodní stěnu válcové plochy [III]

Tepelný tok je poměrem tepelného výkonu k povrchu spodní stěny válcové plochy. Obsah válcové plochy jsem změřil dle programu inventor. $S_{kp} = 0,00671 \text{ m}^2$

$$\phi = \frac{P_{kp}}{S_{kp}} \quad [W \cdot m^{-2}] \quad (12.1)$$

$$\phi = \frac{300}{0,00671}$$

$$\phi = 44\,709,4 \text{ W} \cdot \text{m}^{-2}$$

Hmotnostní tok vody [III]

$$m = \frac{Pv}{c_{pH_2O} \cdot \Delta t} \quad [kg \cdot s^{-1}] \quad (12.2)$$

$$m = \frac{300}{4181,8 \cdot 0,59}$$

$$m = 0,12 \, kg \cdot s^{-1}$$

Obsah průřezu chladicího kanálu

$$S_k = a_k \cdot b_k \quad [m^2] \quad (12.3)$$

$$S_k = 0,004 \cdot 0,015 = 0,00006 m^2$$

Obvod průřezu chladicího kanálu

$$O_k = 2 \cdot (a_k + b_k) \quad [m^2] \quad (12.4)$$

$$O_k = 2 \cdot (0,004 + 0,015)$$

$$O_k = 0,038 \, m$$

Rychlost vody v průřezu kanálu

$$w = \frac{m}{S_k \cdot \rho_{H_2O}} \quad [m \cdot s^{-1}] \quad (12.5)$$

$$w = \frac{0,12}{0,0006 \cdot 998,2}$$

$$w = 2 \, m \cdot s^{-1}$$

Vztah pro hydraulický průměr d_h [III]

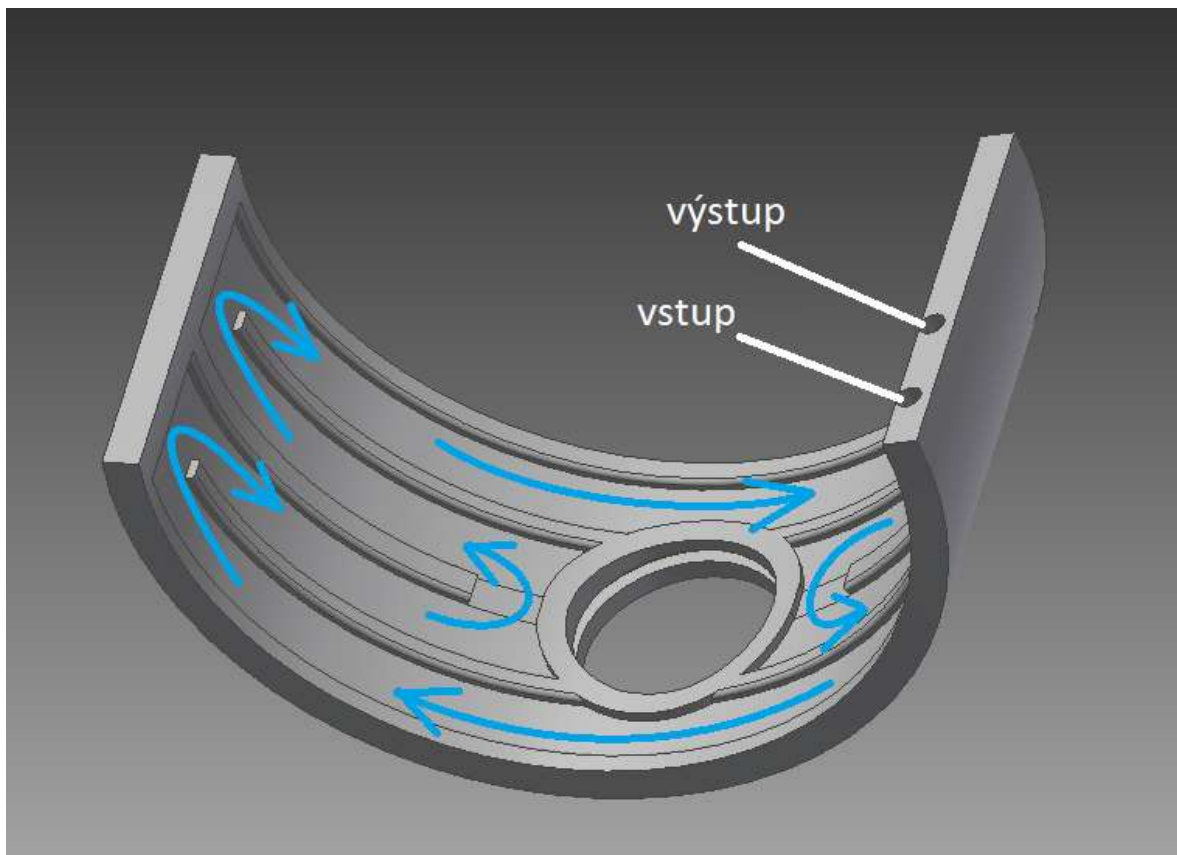
Hydraulický průměr vyjadřuje charakteristický průměr potrubí. Vztah (12.6) vyjadřuje hydraulický průměr pro obdélníkový průřez.

$$d_h = \frac{4 \cdot S}{O} \quad [m] \quad (12.6)$$

$$d_h = \frac{4 \cdot a_k \cdot b_k}{2 \cdot (a_k + b_k)} = \frac{2 \cdot a_k \cdot b_k}{a_k + b_k}$$

$$d_h = \frac{2 \cdot 0,004 \cdot 0,015}{(0,004 + 0,015)}$$

$$d_h = 0,006 \text{ m}$$



Obrázek 32. Schéma kanálu ve válcové ploše

Výpočet teplotního rozdílu vody na vstupu a výstupu [IV]

Výpočet teplotního rozdílu vody na vstupu a výstupu vychází z bilanční rovnice

$$\Delta t_{H_2O} = \frac{P_2}{w \cdot S_k \cdot \rho_{H_2O} \cdot c_{pH_2O}} \quad [^{\circ}\text{C}] \quad (12.7)$$

$$\Delta t_{H_2O} = \frac{300}{2 \cdot 0,00006 \cdot 998,2 \cdot 4181,8} \quad [^{\circ}\text{C}]$$

$$\Delta t_{H_2O} = 0,59^{\circ}\text{C} \quad [^{\circ}\text{C}]$$

Z výpočtu vyplývá, že voda vstupující s teplotou $t_{H_2O \text{ vstup}}$ se po průchodu chladícím kanálem ohřeje o $\Delta t_{H_2O} = 0,59^{\circ}\text{C}$.

Teplota výstupní chladicí kapaliny

Vycházíme z výpočtu teplotního rozdílu vody.

$$t_{H_2O \text{ výstup}} = t_{H_2O \text{ vstup}} + \Delta t_{H_2O} \quad [^{\circ}\text{C}] \quad (12.8)$$

$$t_{H_2O \text{ výstup}} = 20 + 0,59$$

$$t_{H_2O \text{ výstup}} = 20,59^{\circ}\text{C}$$

Teplota chladicí kapaliny na výstupu z chladicího kanálu je $20,59^{\circ}\text{C}$. Tedy nepřekročí dovolenou mez 40°C .

Průměrná teplota vody v chladicím kanálu

$$\Delta t_{H_2O \text{ Střední}} = \frac{t_{H_2O \text{ výstup}} + t_{H_2O \text{ vstup}}}{2} \quad [^{\circ}\text{C}] \quad (12.9)$$

$$\Delta t_{H_2O \text{ Střední}} = \frac{20 + 20,59}{2}$$

$$\Delta t_{H_2O \text{ Střední}} = 20,3^{\circ}\text{C}$$

Reynoldsovo kritérium [III]

Vliv rychlosti, viskozity vody a hydraulického průměru na součinitel tření lze vyjádřit pomocí Reynoldsova kritéria.

$$Re = \frac{w \cdot d_h}{\nu_{H_2O}} \quad [-] \quad (12.10)$$

$$Re = \frac{2 \cdot 0,006}{1,004 \cdot 10^{-6}}$$

$$Re = 11\,952,19 \Rightarrow 11\,952,19 > 10\,000$$

Z výsledné hodnoty vyplývá, že v chladicím kanálku bude voda působit turbulentním prouděním.

Prandtlovo kritérium [III]

Prandtlovo kritérium je stejné jako u předešlého výpočtu pro chlazení víka $Pr = 7,019 [-]$

Součinitel přestupu tepla [IV]

$$\alpha_k = \frac{0,021 \cdot \lambda_{H_2O} \cdot Re^{0,8} \cdot Pr^{0,4}}{d_H} \quad [W \cdot m^{-2} \cdot K^{-1}] \quad (12.11)$$

$$\alpha_k = \frac{0,021 \cdot 0,599 \cdot 11952,19^{0,8} \cdot 7,019^{0,4}}{0,006}$$

$$\alpha_k = 8354,27 [W \cdot m^{-2} \cdot K^{-1}]$$

Výpočet teploty stěny víka t_2 [IV]

Délku kanálu jsem určil dle programu inventor $L_k = 0,922m$

$$t = \frac{Pc}{\alpha_k \cdot ((a_k + b_k) \cdot 2) \cdot L_k} + \frac{t_{H_2O \text{ vstup}} + t_{H_2O \text{ výstup}}}{2} \quad [^{\circ}C] \quad (12.12)$$

$$t = \frac{300}{8354,27 \cdot ((0,004 + 0,015) \cdot 2) \cdot} + \frac{20 + 20,59}{2}$$

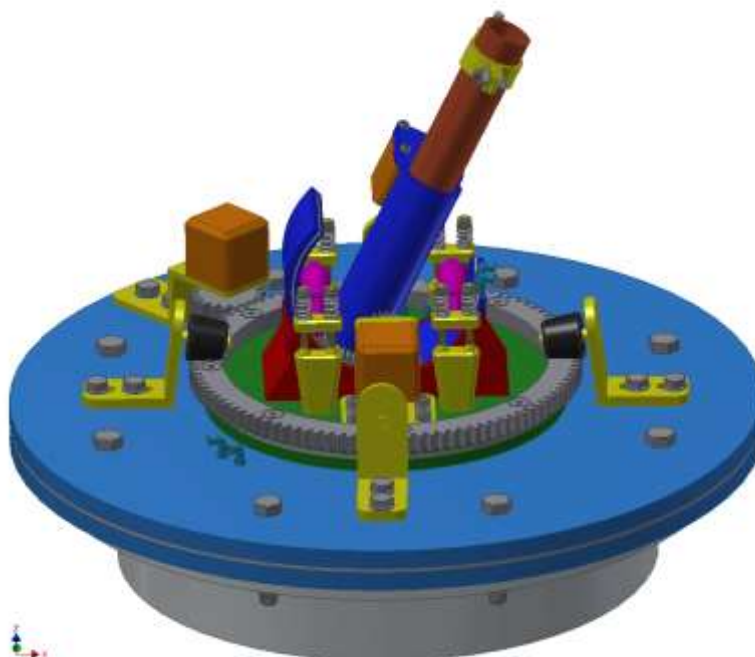
$$t = 21,31^{\circ}C$$

Teplota stěny víka bude $21,3^{\circ}C$

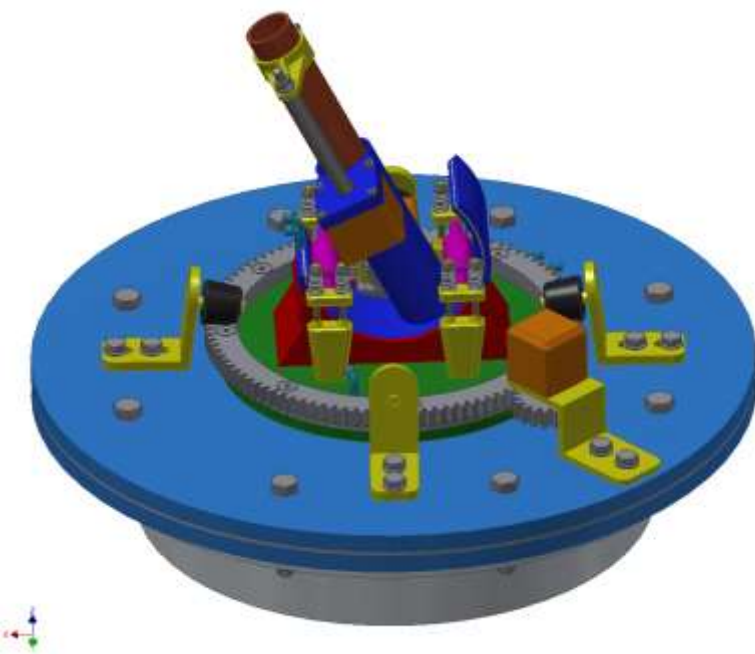
13. Základní silová rozvaha

Celá sestava je zatížena gravitačními účinky jednotlivých součástí a příslušenství. S měnícím se pracovním náklonem hořáku, se mění i účinky na celou sestavu.

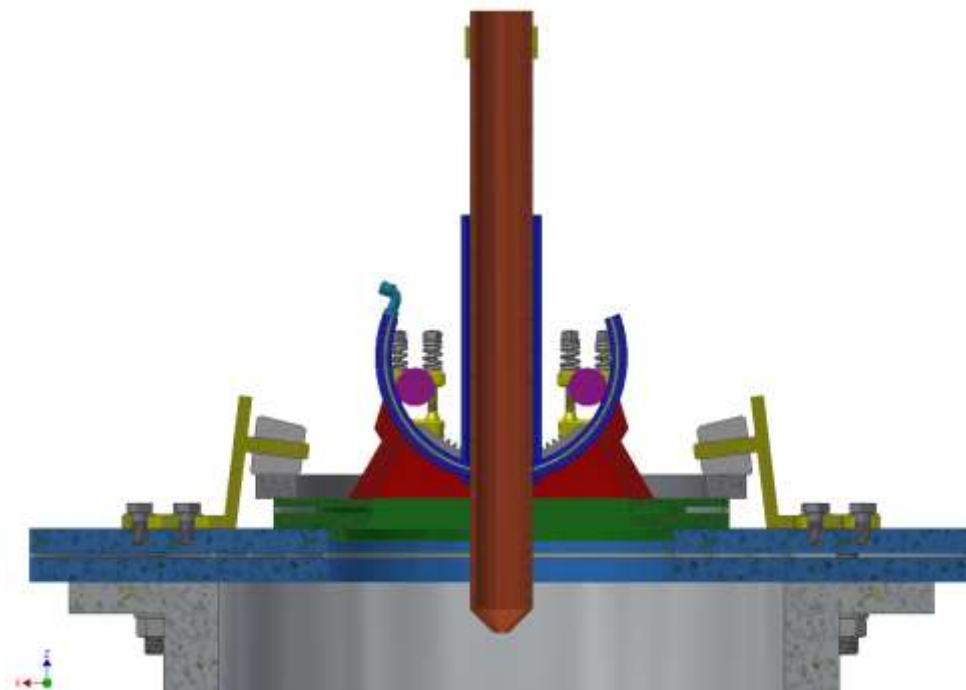
V sestavě je hořák zobrazen pouze názorně, jako trubkovitá součást. V reálu je hořák navíc opatřen ještě příslušenstvím: chlazením vnějšího a vnitřního okruhu, přívodem argonu a elektrického proudu a spolu s tím související soustavou hadic a kabelů (obr. 36).



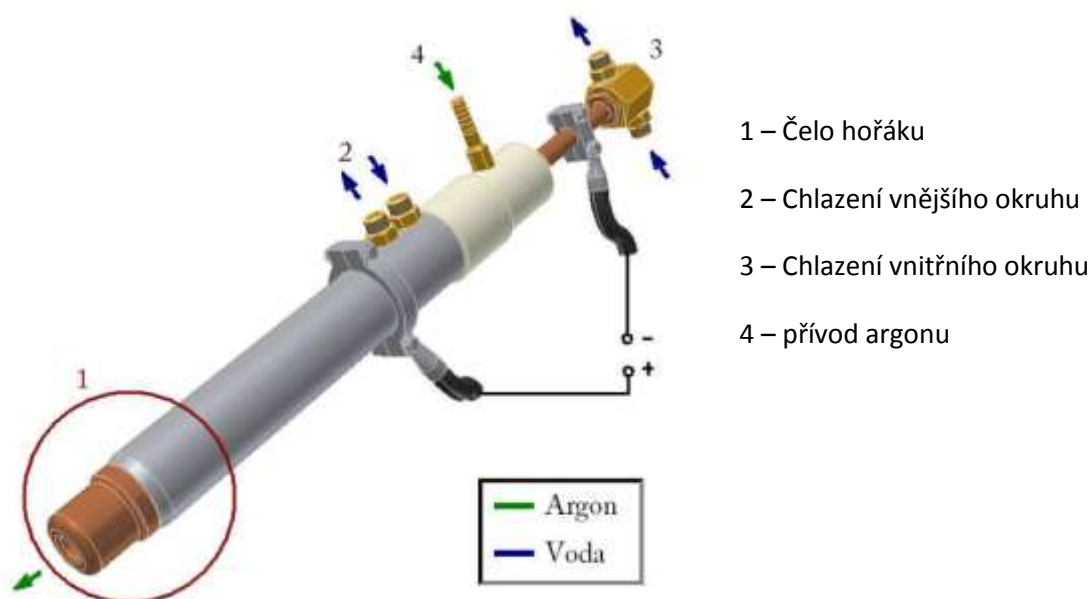
Obrázek 33. Sestava - čelní pohled



Obrázek 34. Sestava - zadní pohled

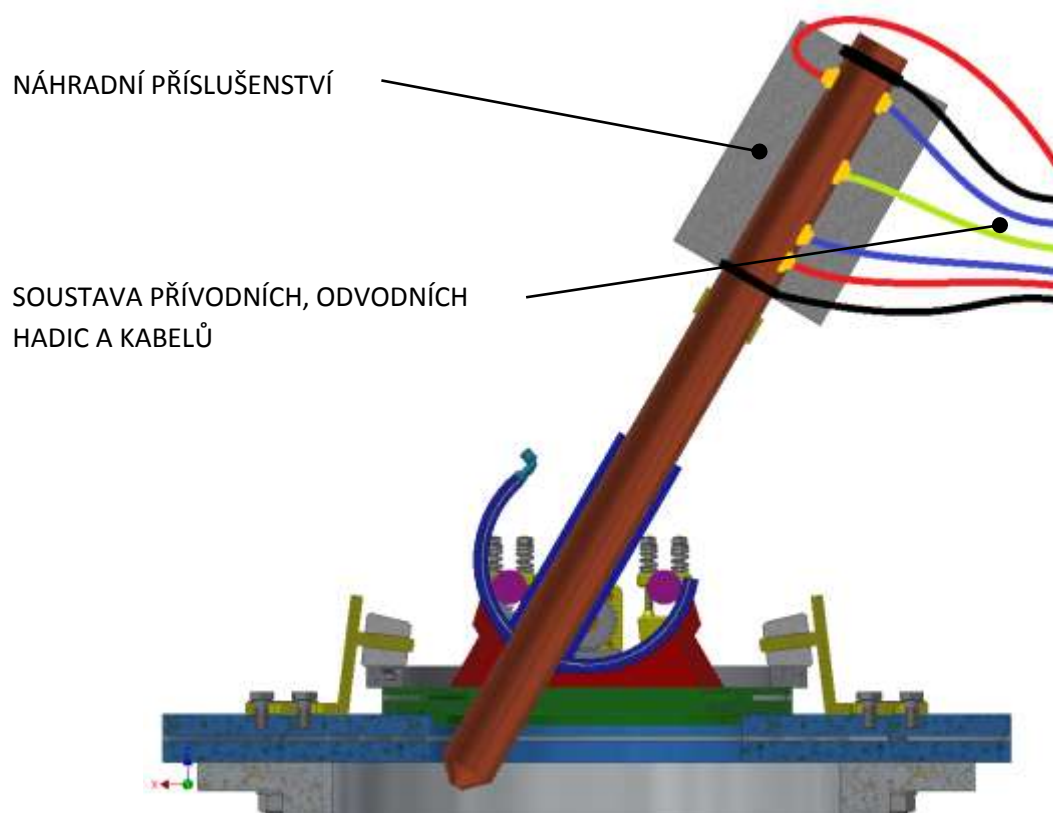


Obrázek 35. Sestava v řezu

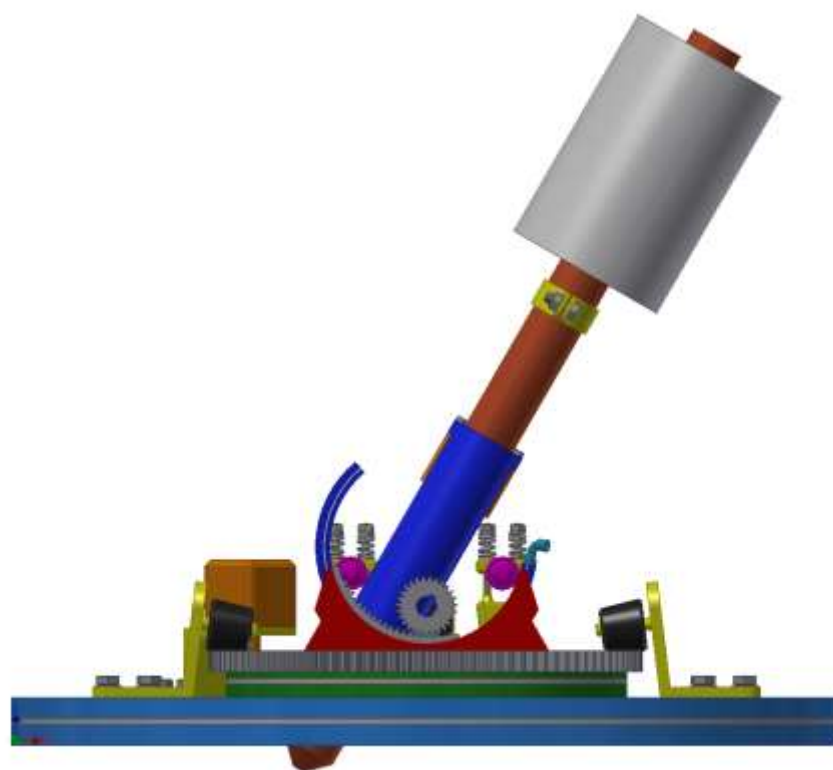


Obrázek 36. Celkové schéma inovovaného plazmového hořáku [IX]

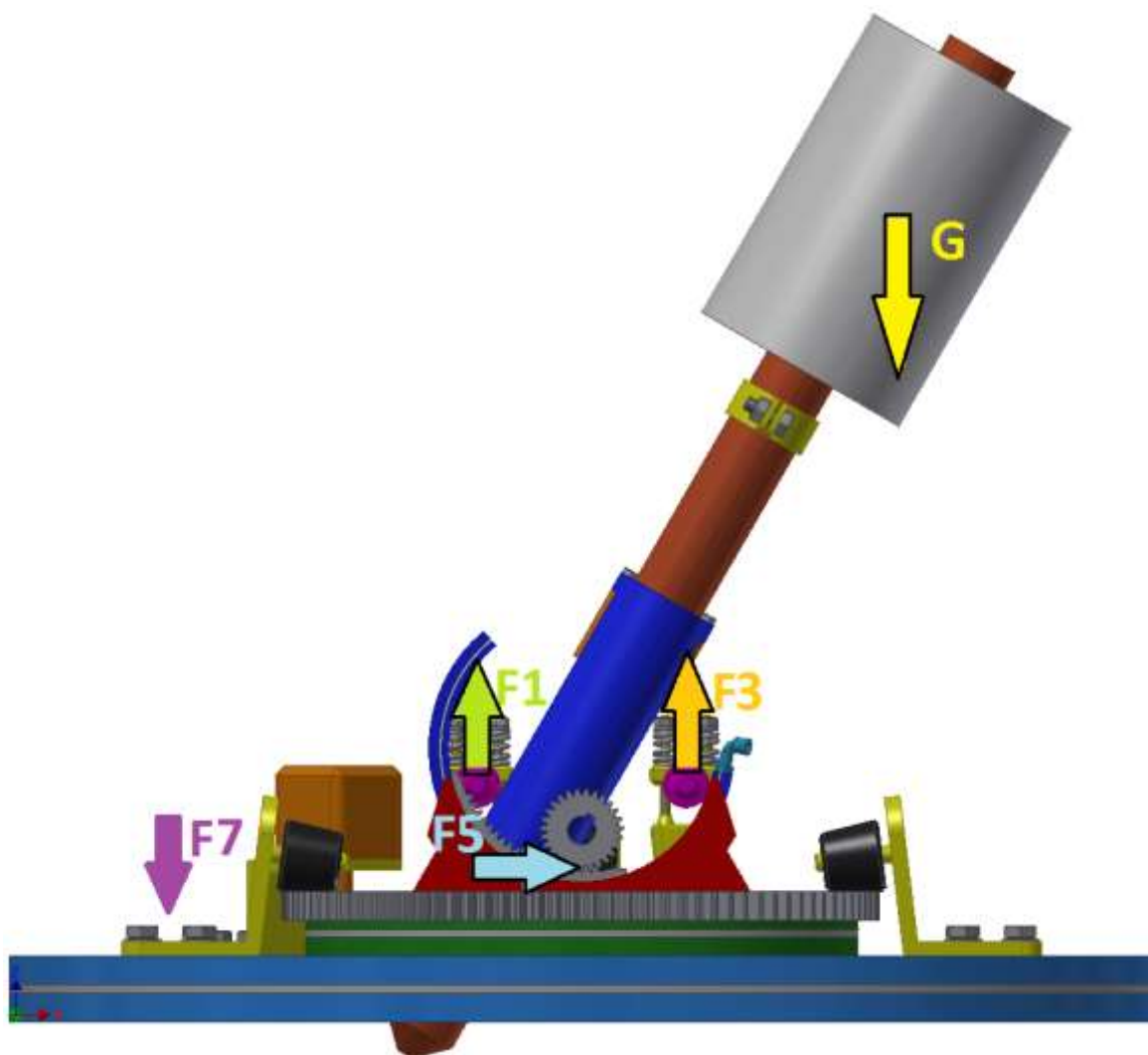
Ve výpočtech je dále s hořákem a jeho soustavou přívodních a odvodních hadic a kabelů uvažováno tak, jakoby byla celá tato soustava v limitní poloze, což znamená vysunutí hořáku na maximum (100 mm), při maximálním náklonu 30° a veškeré přívodní a odvodní hadice a kabely vedou jedním a to tím nejméně příznivým směrem (obr. 37). Působení těchto hadic a kabelů je modelově nahrazeno příslušenstvím o hmotnosti 15 kg, se kterým je dále počítáno.



Obrázek 37. Sestava v řezu – soustava hadic a kabelů k hořáku – náhradní příslušenství



Obrázek 38. Sestava – zadní pohled – s náhradním příslušenstvím



Obrázek 39. Sestava – zadní pohled – základní silová rovnice

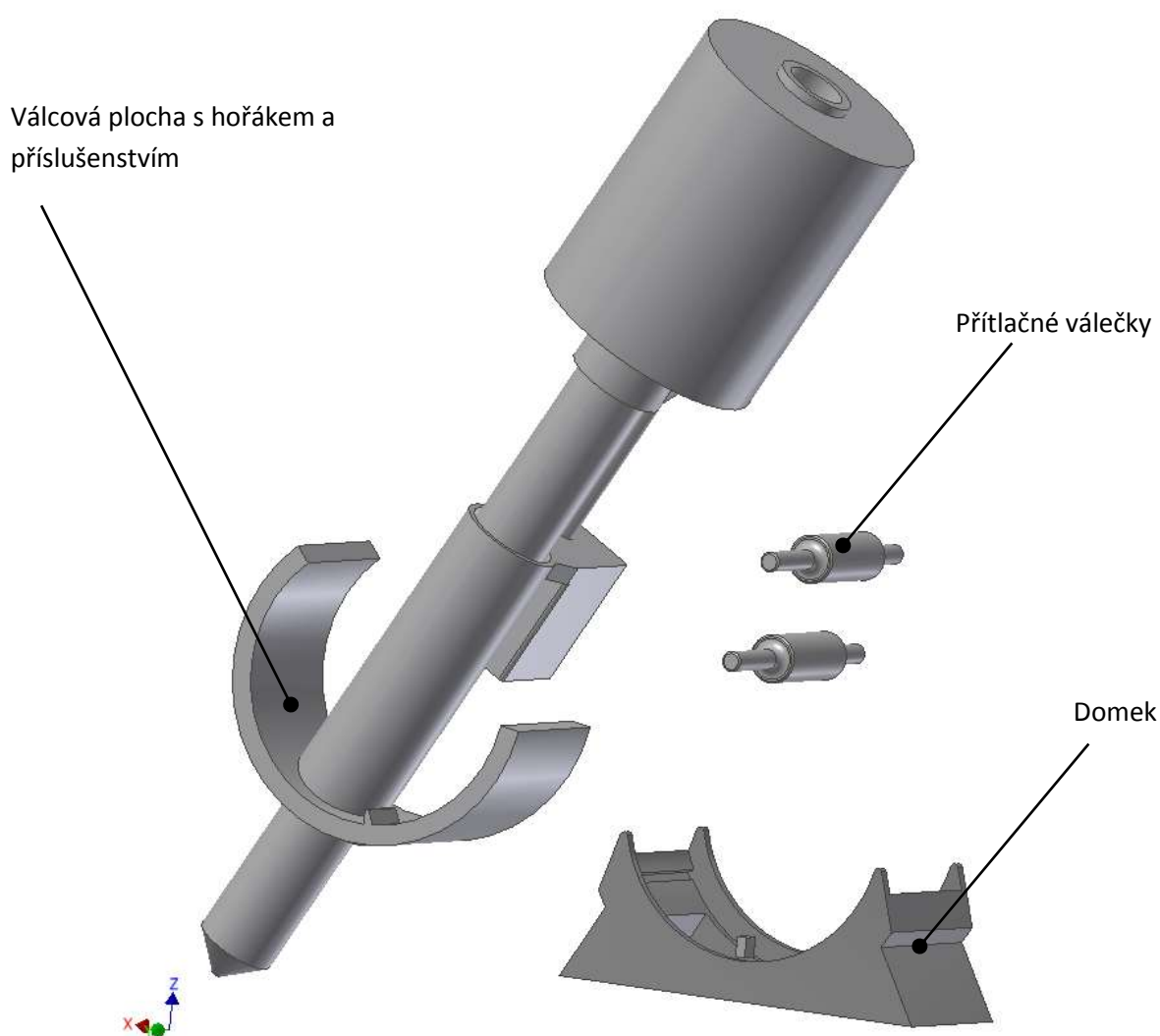
Na základě působení gravitace na hořák s příslušenstvím v limitní poloze (obr.39) (maximální zdvih 100 mm a maximální náklon 30°) je uvažováno, že tíha příslušenství má tendenci nakloněným hořákem otáčet kolem osy válcové plochy pouze do nespecifikované hranice, kdy se ono otáčení mění na překlápění celé sestavy přes hranu domku.

Na první pohled není úplně patrné, kde je ona hranice mezi otáčením a překlápěním, proto jsem pro výpočet potřebných reakčních sil pro další dimenzování sestavy zvolil program Autodesk Inventor Professional 2013 se systémovým prostředím pro pevnostní analýzu.

14. Výpočet reakčních sil v programu Autodesk Inventor Professional 2013

14.1. Zjednodušení modelu sestavy

Celkový model sestavy byl značně zjednodušen do 4 komponent. Původně pohyblivé komponenty jako hořák s příslušenstvím, válcová plocha, lineární motor atd. byly nahrazeny jednou pro výpočet kompaktní součástí. Další komponenty jsou pevný domek, který představuje jakousi základnu a dvojice přitlačných válečků.

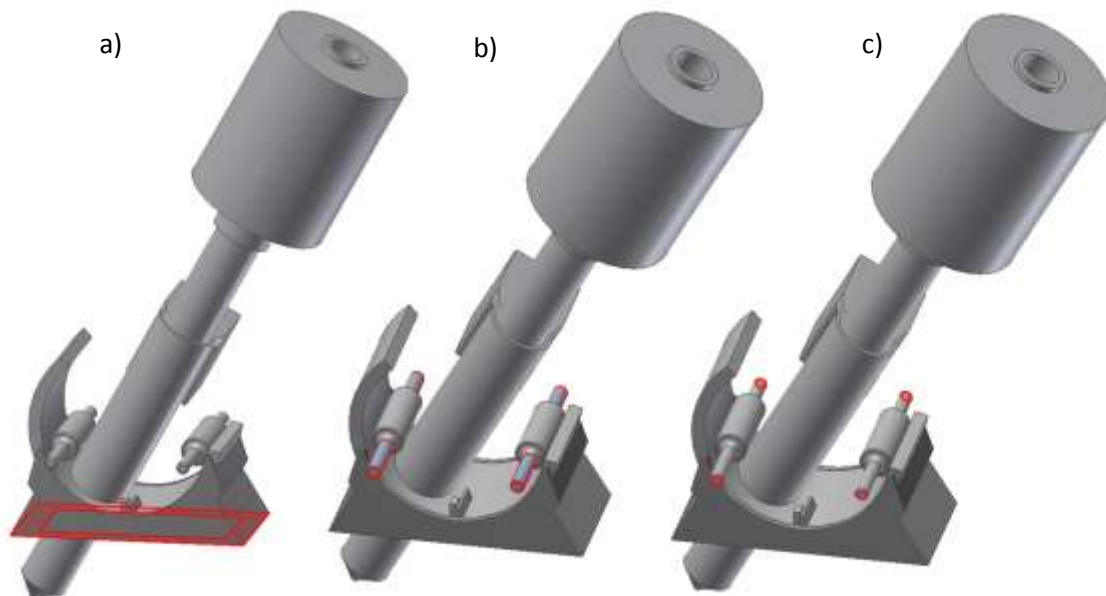


Obrázek 40. Zjednodušený model sestavy pro výpočet

14.2. Definování vazeb a doteků v modelu

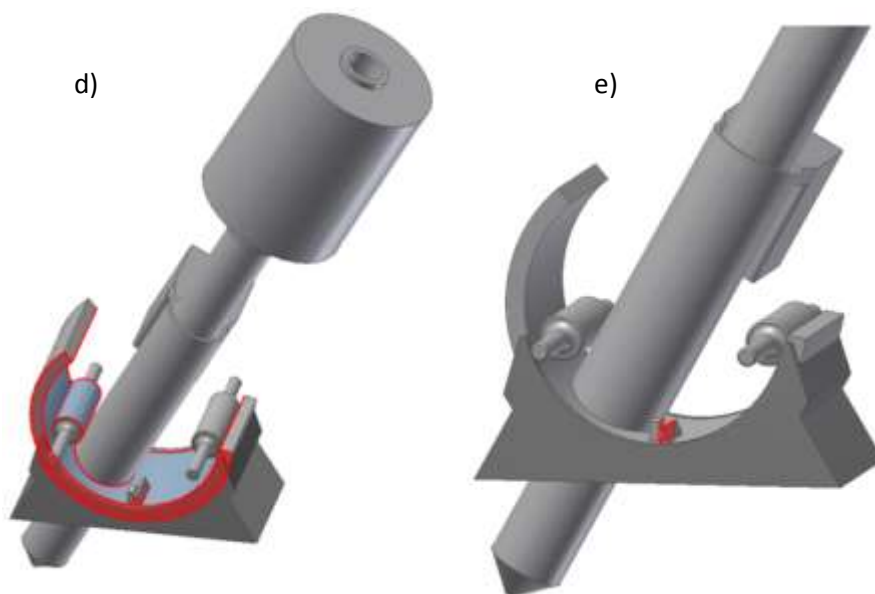
Pro správný výpočet je nezbytné dobře nadefinovat vzájemné vazby a doteky mezi různými komponentami.

- a) **Pevná vazba:** Odstraňuje všechny stupně volnosti.
- b) **Ideální vazba:** Brání v normálovém pohybu vzhledem k povrchu.
- c) **Vazba svorka:** Izoluje stupně volnosti na radiální, axiální nebo tečné.



Obrázek 41. Schéma použitých vazeb pro výpočet

- d) **Dotyk posunutí / bez oddělení:** Umožňuje relativní posouvání mezi dotykovými plochami, ale zakazuje oddělení.
- e) **Dotyk Separate:** umožňuje oddělení mezi součástmi, ale zakazuje průnik součástí.



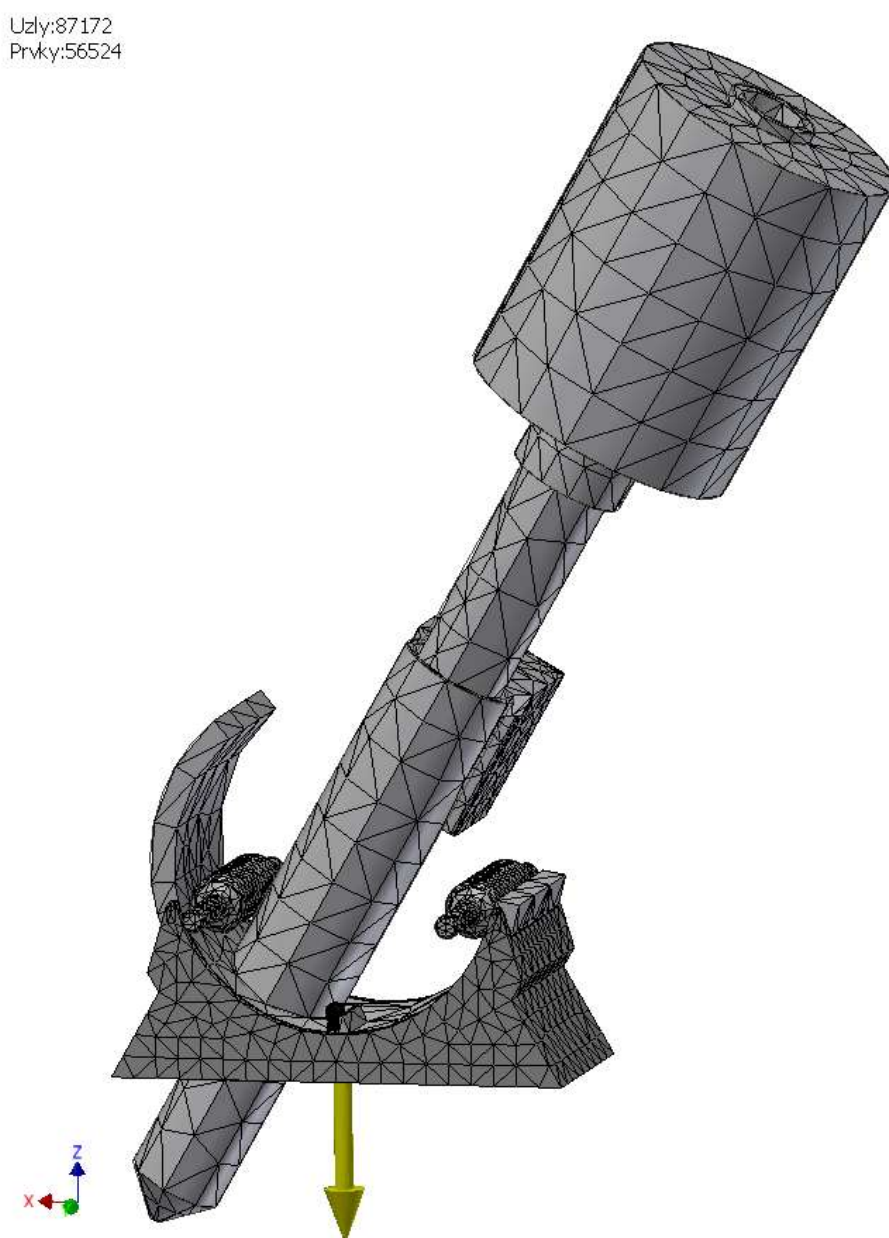
Obrázek 42. Schéma použitých doteků pro výpočet

14.3. Definování sítě prvků a zatížení modelu

Síť umožňuje rozdělit a aproximovat složitou sestavu do jednotlivých malých prvků, se kterými pak program v simulaci počítá a vyhodnocuje u nich potřebné parametry. Jedná se o výpočetní metodu konečných prvků (MKP).

Nastavením různých velikostí jednotlivých prvků je možno docílit vyšší přesnosti v potřebných místech. Konkrétně tato sestava byla rozdělena pomocí 87 172 uzlů do 56 524 prvků.

Jediné zadávané zatížení sestavy bylo zahrnutí působení gravitace $g = 9\,810 \text{ mm} / \text{s}^2$.



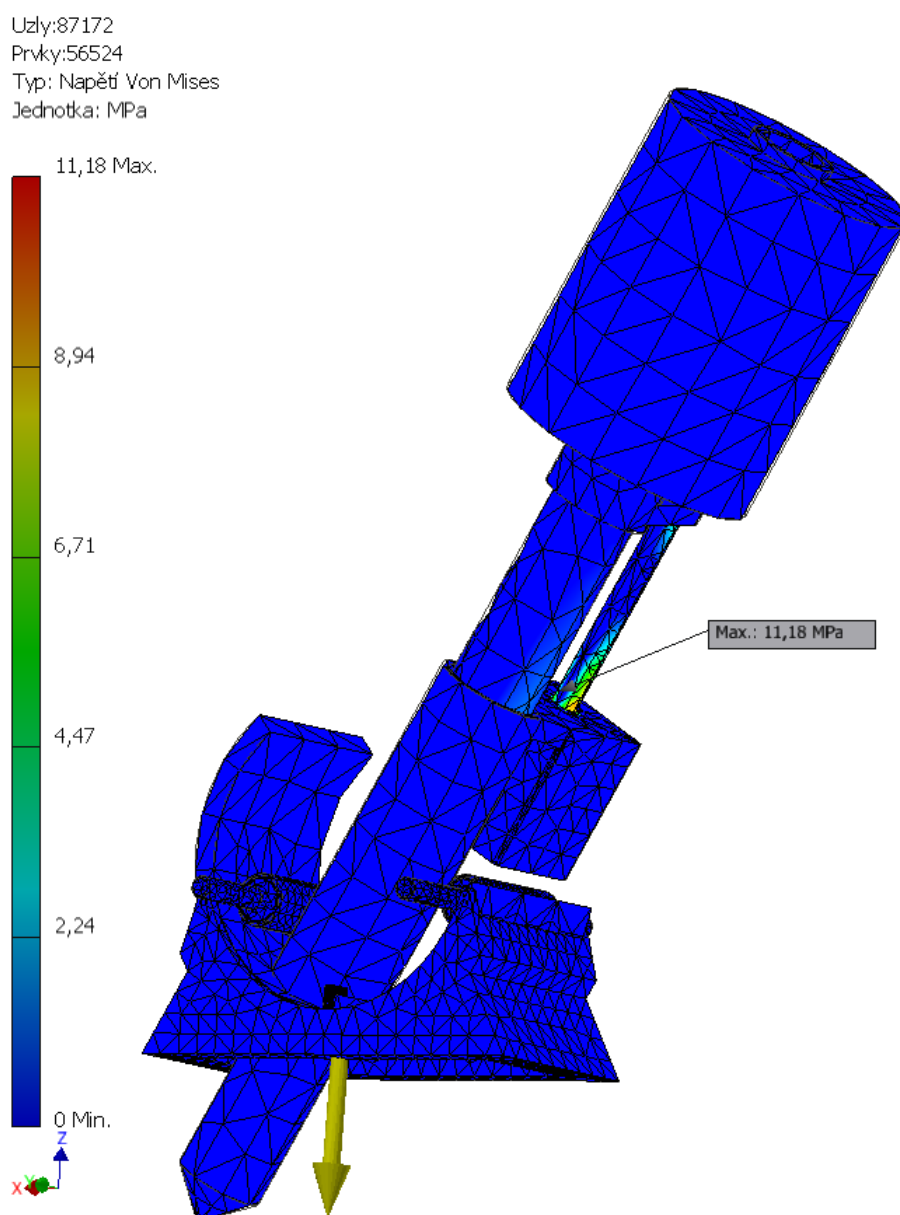
Obrázek 43. Schéma definování sítě

14.4. Výsledky z pevnostní analýzy

Z pevnostní analýzy, kterou jsem dělal za pomoci programu Inventor professional 2013 se systémovým prostředím pro pevnostní analýzu, jsem obdržel řadu výsledků. Například napětí, posunutí v jednotlivých osách, stykový tlak a reakce v předem definovaných vazbách. Zrovna tyto reakce jsou pro následující výpočty a dimenzování nejpotřebnější.

14.4.1. Napětí

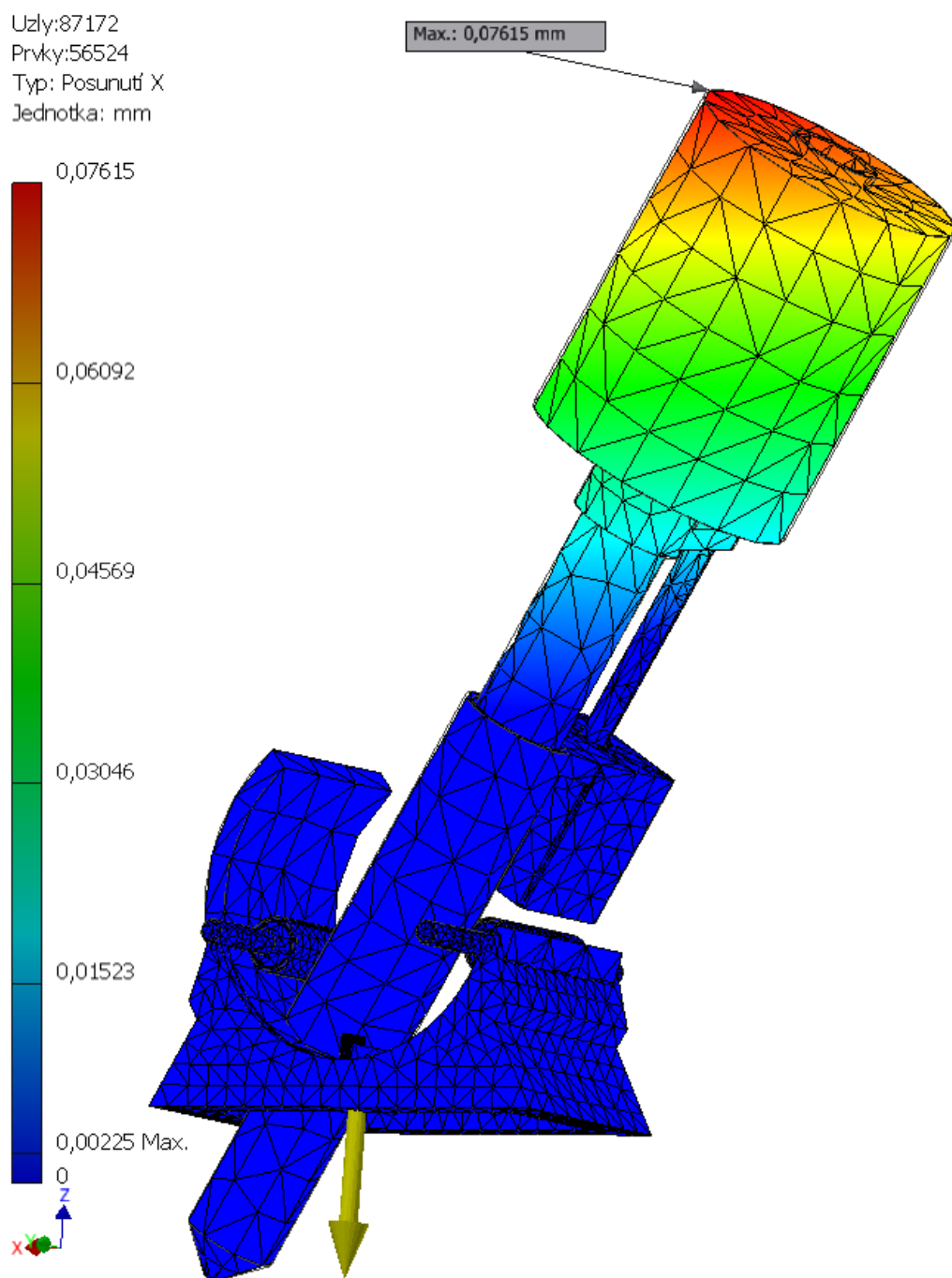
Maximální napětí 11,18 Mpa, bylo detekováno na závitové tyči od lineárního motoru. Toto napětí beru jako zanedbatelné a dále se jím nezabývám.



Obrázek 44. Výsledek pevnostní analýzy – Max. napětí

14.4.2. Posunutí

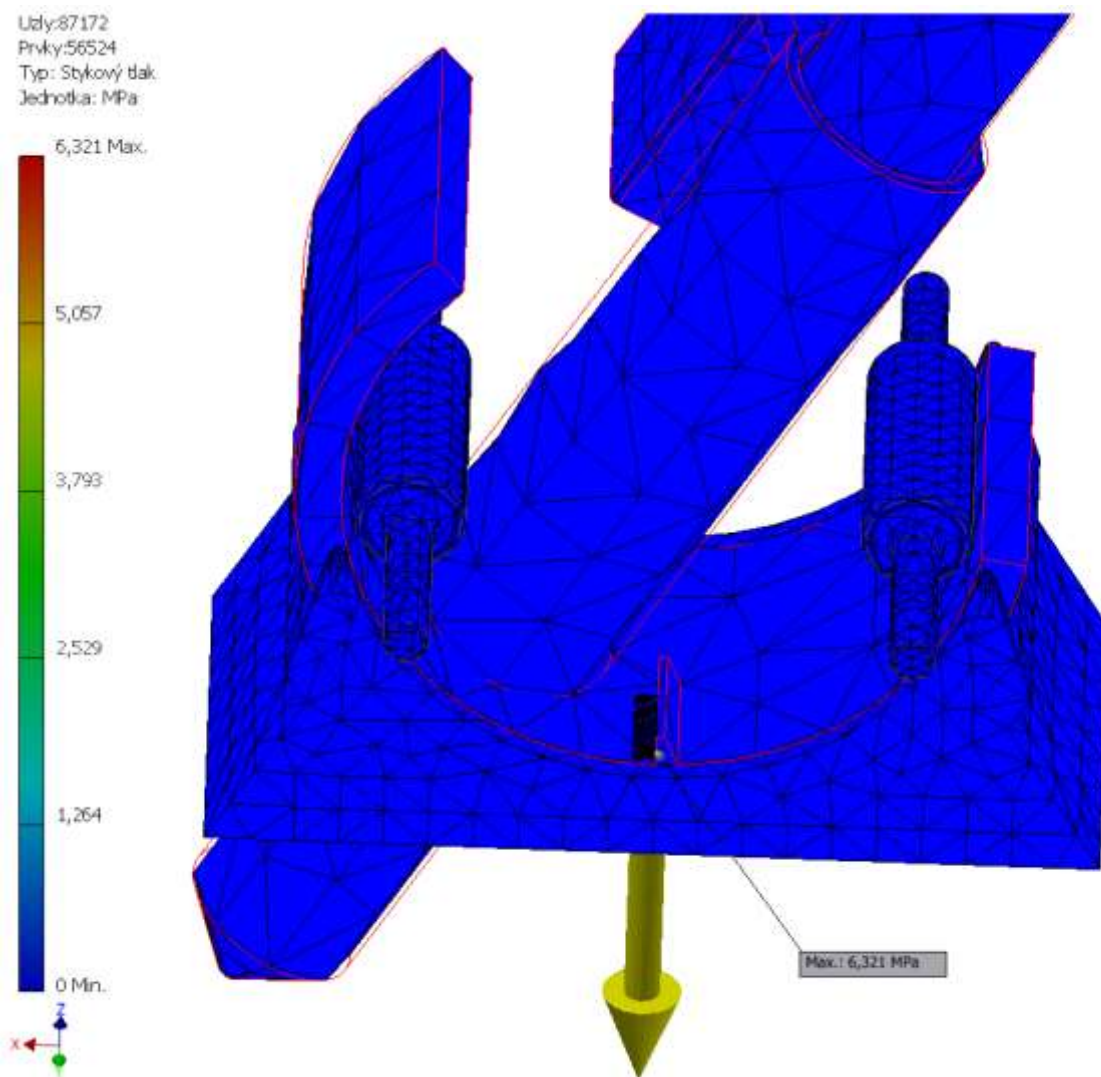
Maximální posunutí 0,076 mm, bylo detekováno v ose X a to na nejvzdálenějším bodu od pevné podstavy sestavy. Toto posunutí beru jako zanedbatelné a dále se jím nezabývám.



Obrázek 45. Výsledek pevnostní analýzy – Max. posunutí

14.4.3. Stykové napětí

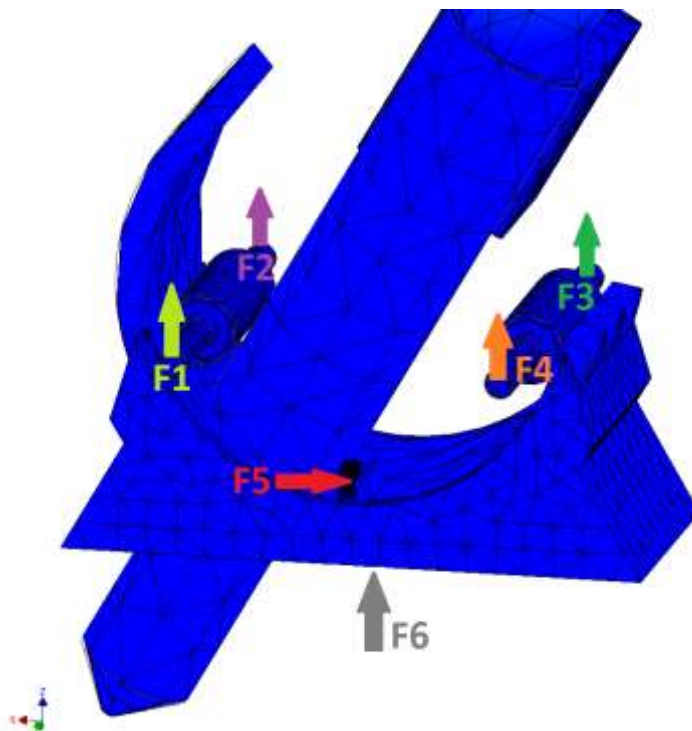
Maximální stykové napětí 6,321 MPa, bylo detekováno mezi plochami pomyslného ozubení. Tento výsledek ukazuje na fakt, že právě ozubení bude přenášet největší sílu pro stabilizaci hořáku v maximální poloze.



Obrázek 46. Výsledek pevnostní analýzy – Max. stykový tlak

14.4.4. Reakce ve vazbách

Tyto reakční síly jsou výsledkem zatížení soustavy gravitací v limitní poloze, dle zadání. Reakční síly ve vazbách F1 a F2 vyšly se záporným znaménkem, tudíž mají opačnou orientaci jak na (obr. 47). Reakce F1, F2, F3 a F4 poukazují na nerovnoměrné zatížení přítláčných válečků. V dalších výpočtech pro dimenzování přítláčných pružin oněch přítláčných válečků, je dále počítáno se silou $F_2 = 61\text{ N}$. Reakce F5 je pak síla, která bude působit mezi ozubením a bude sloužit k návrhu pohonu a ozubení. Tato síla je potřebná pro to, aby byl hořák nakloněn v požadované maximální poloze. Síla o největší velikosti F6 je reakce, která je přímo úměrná váze sestavy.



Obrázek 47. Výsledek pevnostní analýzy – reakce ve vazbách

Reakční síla	Hodnota
F1	-54,1 N
F2	-60,58 N
F3	+32,91 N
F4	+26,6 N
F5	+111,7 N
F6	+215 N

Tabulka 8. Výsledky reakčních sil

15. Výpočet přítlačných prvků

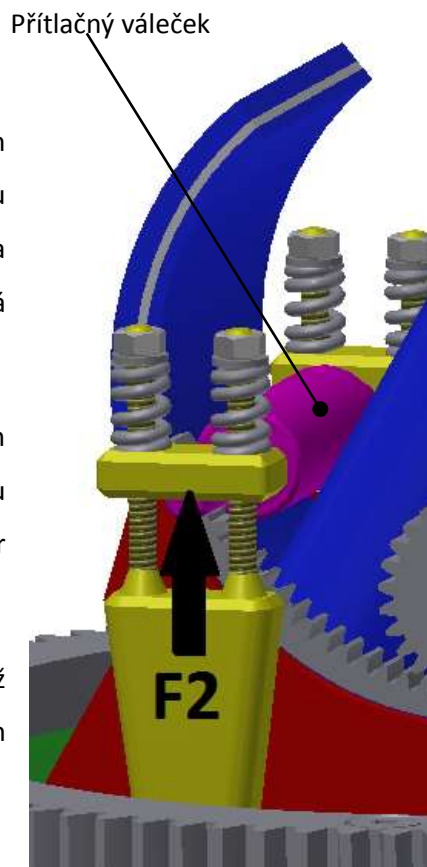
15.1. Přítlačné válečky

Přítlačný váleček bude vždy přítlačován párem totožných pružin na každém konci. Každá z pružin má dostatečnou sílu na přítlačení válečku k válcové ploše, tak aby byla zajištěna hermetizace pracovního prostoru pece. Síla pružiny se dá regulovat pomocí dotažení matice.

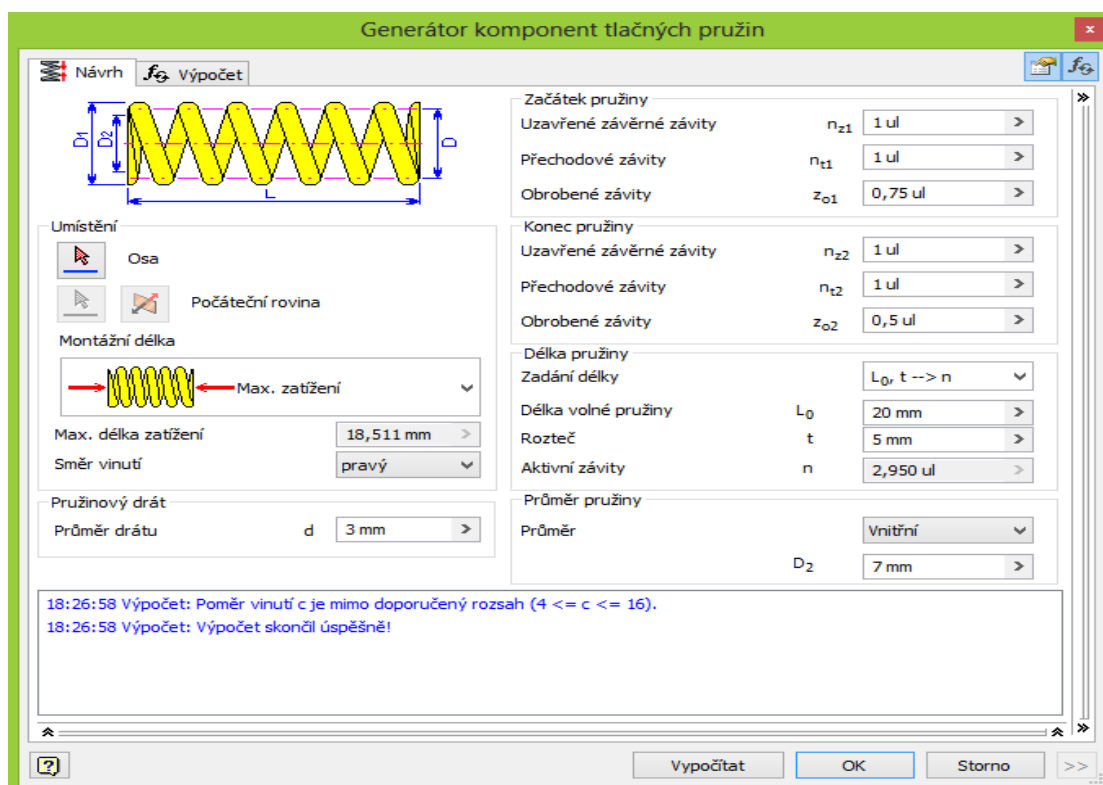
Pružinu jsem navrhoval na základě požadovaných rozměrů v sestavě a ověřil potřebnou sílu pomocí generátoru komponent (obr. 49 a obr. 50) v programu Inventor Professional 2013.

Pracovní zatížení pružiny ($F = 250\text{ N}$), (obr. 50) je vyšší než potřebná síla F_2 (obr. 48.), pružina tedy vyhovuje. Volím součinitel bezpečnost $k=3$

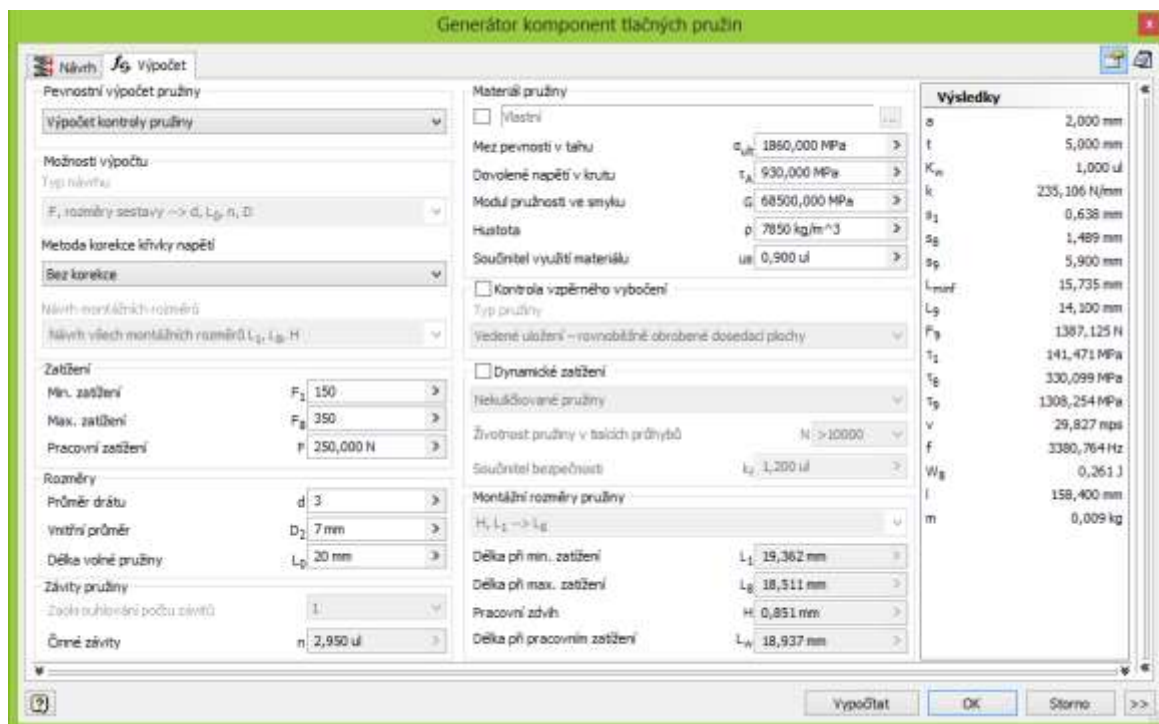
$$F \geq |F_2| \cdot k \geq 61 \cdot 3 \geq 183 \text{ N} \quad [N] \quad (15.1)$$



Obrázek 48. Schéma působení síly F_2



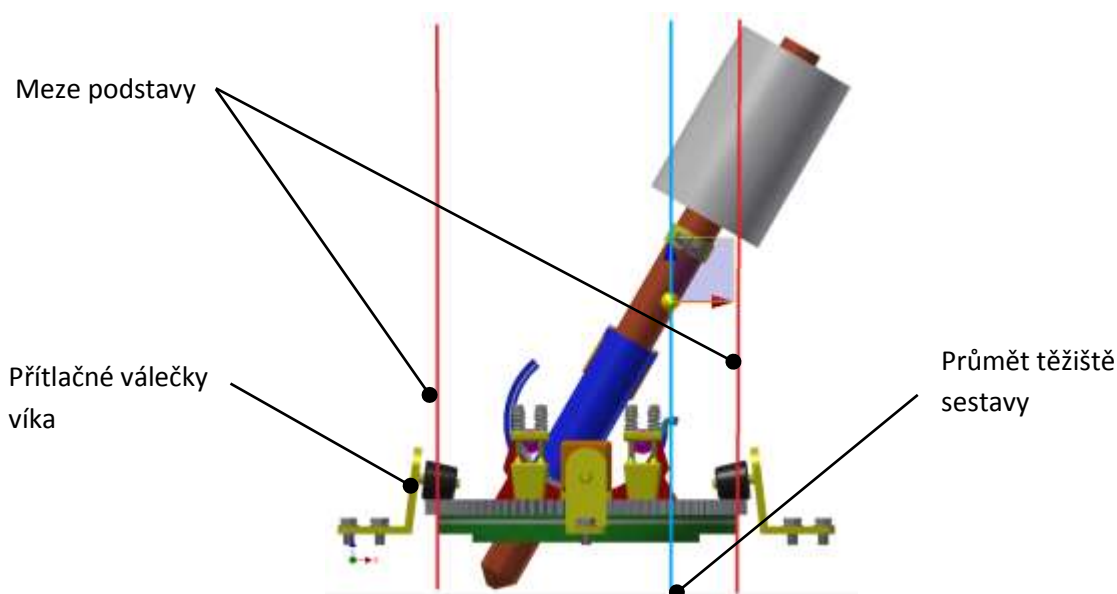
Obrázek 49. Návrh tlačné pružiny



Obrázek 50. Výpočet pružiny v programu Inventor Professional 2013

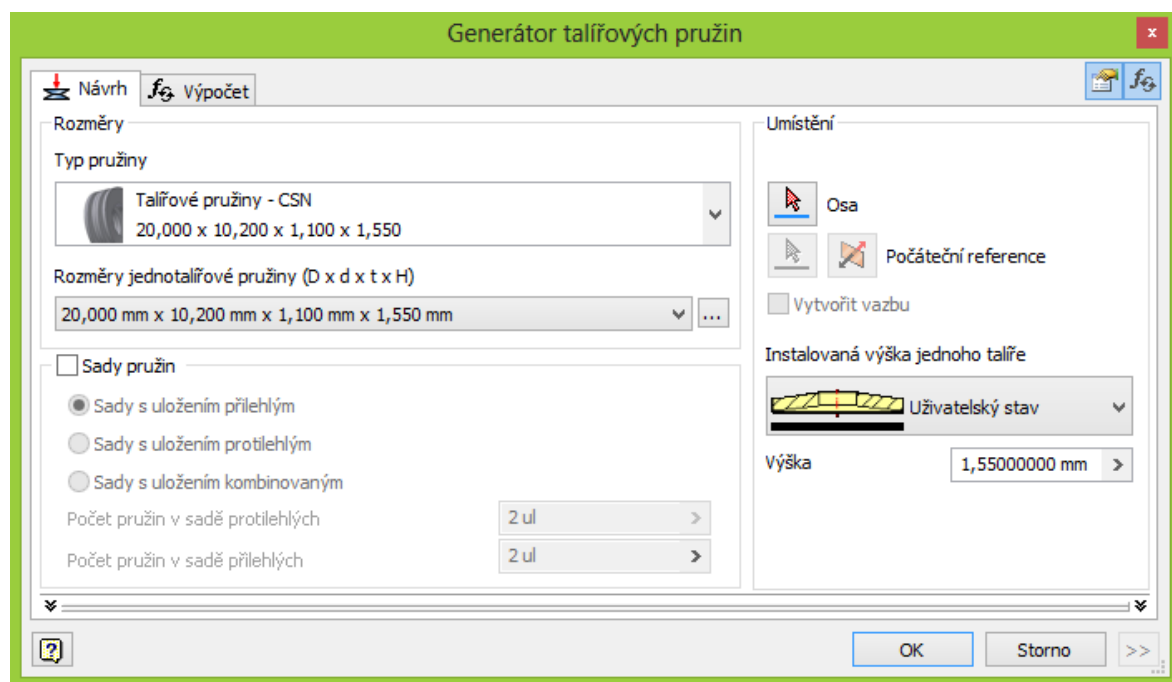
15.2. Přítlačné válečky víka

Přítlačné válečky víka slouží hlavně jako bezpečnostní prvek proti převrhnutí celé sestavy. Sestava sama bez jiného vnějšího vlivu, nemá tendenci se vyvrátit v žádné pracovní poloze, plyne to ze schématu (obr. 51), kde kolmý průmět těžiště sestavy (v limitní poloze) se nachází v průmětu podstavy oné sestavy. Jako přítlačný prvek válečků volím talířovou pružinu, kvůli její prudké charakteristice. Talířová pružina bude s minimálním stlačením zachycovat případné vlivy, které by vedly k potenciálnímu převrhnutí sestavy.

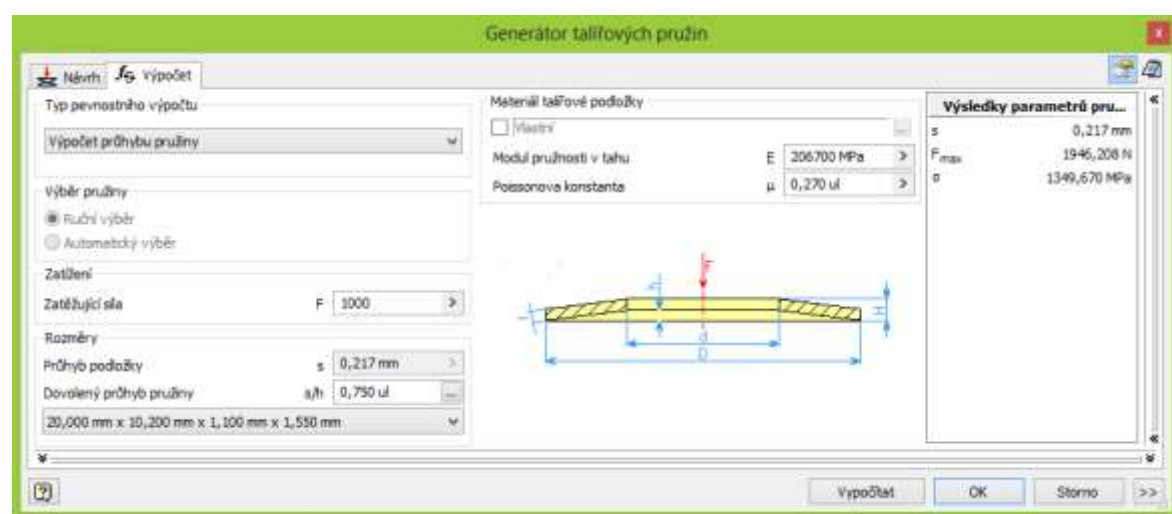


Obrázek 51. Schéma - průmět těžiště do podstavy


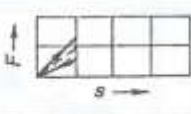
Talířová pružina je na základě požadovaných rozměrů v sestavě navržena pomocí generátoru komponent (obr. 52 a obr. 53) v programu Inventor Professional 2013.



Obrázek 52. Návrh talířové pružiny



Obrázek 53. Výpočet talířové pružiny

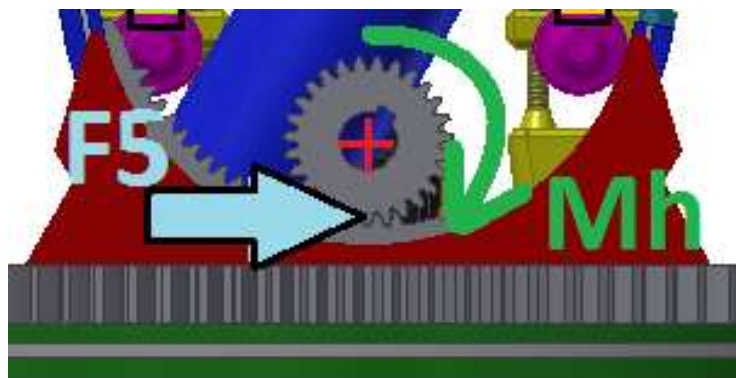
TALÍŘOVÉ PRUŽINY		
Výběr z ČSN 02 6060 Účinnost od 1. 4. 1991		
Název	Zobrazení	Charakteristika
samostatná		

Obrázek 54. Charakteristika talířové pružiny [VIII]

16. Návrh pohonů

16.1. Pohon naklápění hořáku

Naklápění a stabilizaci hořáku v požadované poloze zabezpečuje krokový motor prostřednictvím ozubení. Návrh motoru vychází z rovnováhy momentů k ose motoru. Z pevnostní analýzy (obr. 47.) víme sílu (F_5), která působí mezi zuby v limitní poloze hořáku. Na schématu (obr. 55.) je znázorněn potřebný hnací moment motoru M_h .



Obrázek 55. Schéma momentů k ose motoru naklápění

$$\sum M_i = 0 \quad [X] \quad (16.1)$$

$$F_5 \cdot r \cdot k - M_h = 0$$

$$M_h \geq F_5 \cdot r \cdot k \geq 111,7 \cdot 0,02025 \cdot 1,4 = 3,16 \text{ N m}$$

$$r - \text{poloměr ozubeného kola} \quad r = 20,25 \text{ mm}$$

$$k - \text{součinitel bezpečnosti} \quad k = 1,4$$

$$F_5 - \text{síla mezi zuby} \quad F_5 = 111,7 \text{ N}$$

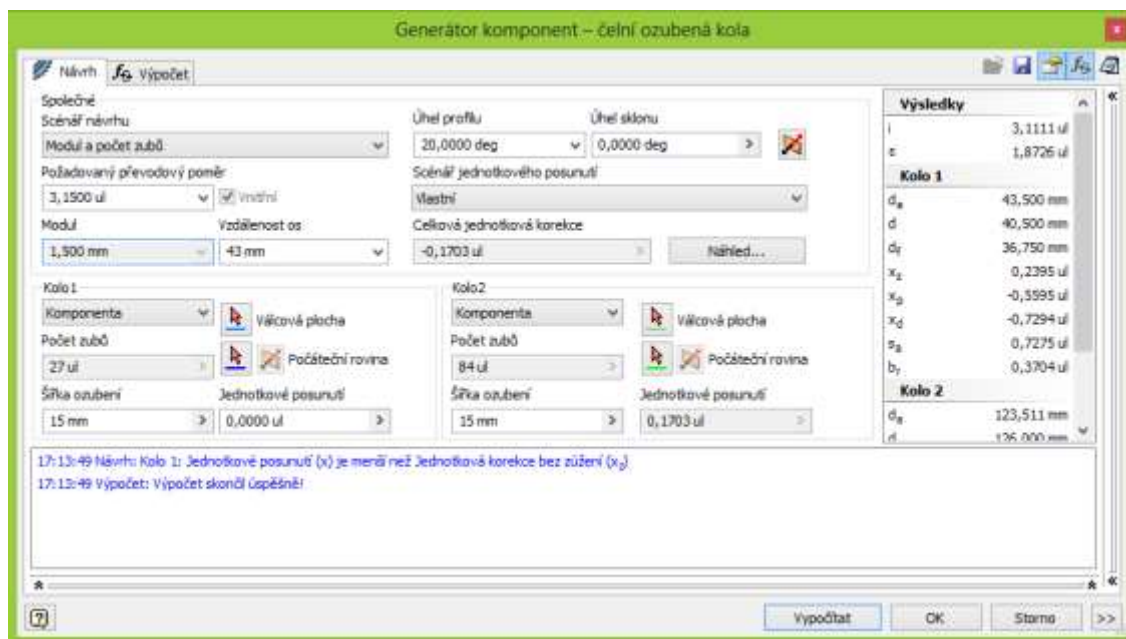
Pro pohon naklápění hořáku volím krokový motor - Stepper Motor Size NEMA 34 (Příloha č. 2)

16.2. Ozubení naklápění hořáku

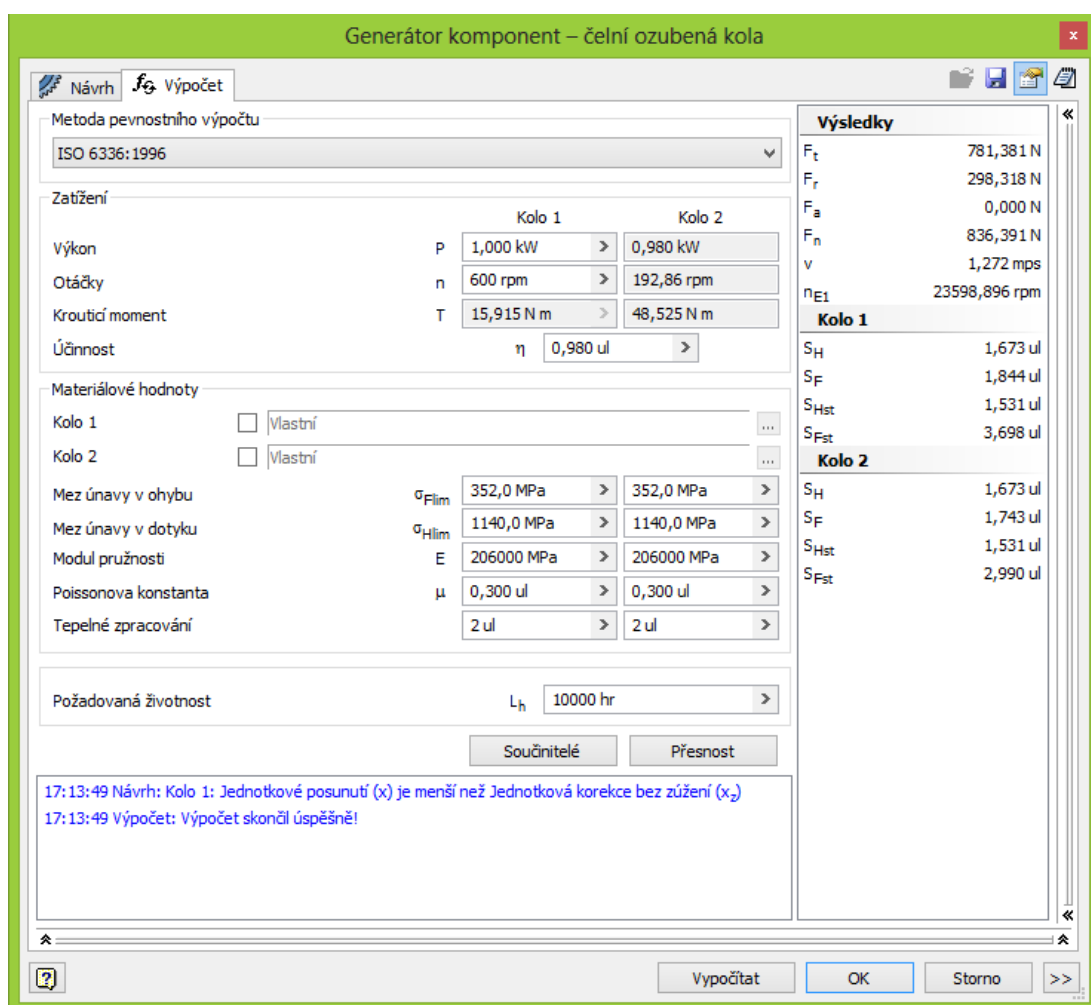
Ozubení naklápění hořáku je navrhováno a spočítáno pomocí generátoru komponent v programu Inventor Professional 2013. Rozměry ozubeného převodu vychází z požadavků sestavy a požadavku na přenesení potřebného momentu motoru $M_m = 6,08 \text{ Nm}$.

Volím vnitřní ozubené soukolí (obr. 56.) s převodovým poměrem $i = 3,15$; modul $m = 1,5$; počet zubů pastorku $Z_1 = 27$; počet zubů velkého kola $Z_2 = 84$ (na sestavě je pouze část velkého kola); šířka zubů $b = 15 \text{ mm}$.

Z výpočtu (obr. 57.) je patrné, že pastorek přenesl $15,9 \text{ Nm}$, tudíž vyhovuje podmínce pro přenesení potřebného momentu motoru M_m .



Obrázek 56. Návrh ozubeného soukolí pro náklon hořáku



Obrázek 57. Výpočet ozubeného soukolí pro náklon hořáku

16.3. Pohon otáčení hořáku

Pohon pro otáčení hořáku otáčí celou sestavou pomocí ozubeného převodu. Návrh pohonu vyplývá z pohybové rovnice.

$$I \cdot \varepsilon = \sum M \quad [X] \quad (16.2)$$

$$\sum M = M_{H2} - M_{tř}$$

$$M_{tř} = F_T \cdot R \quad [Nm] \quad (16.3)$$

$$F_T = f \cdot N \quad [N] \quad (16.4)$$

f – součinitel tření ocel-ocel $f=0,15$

ε – požadované zrychlení $\varepsilon = \frac{\pi}{4} \text{ rad/s}^2$

R – poloměr otáčení $R=0,22 \text{ m}$

I – moment setrvačnosti $I = 0,050044 \text{ kg/m}^2$ (hodnota odečtena z programu Inventor)

N – normálová síla (obr. 58.), je rovna součtu působení síly F_6 ze statické analýzy (obr. 47.) a

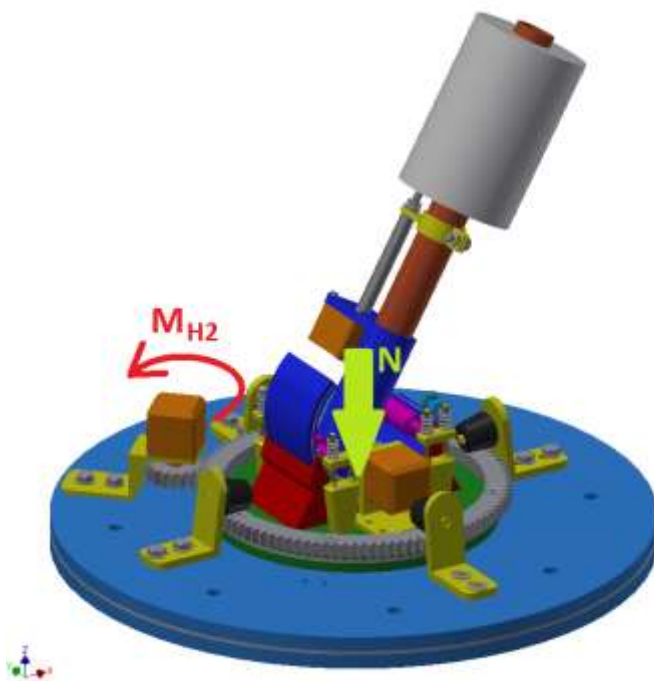
působení hmotnosti ostatních součástí sestavy (F_h) $F_h = m \cdot g \quad (16.5)$

$$N = F_6 + F_h = 215 + 5,35 \cdot 9,81 = 267,48 \text{ N}$$

Úpravou rovnic (16.2, 16.3, 16.4 a 16.5) dostaneme:

$$M_{H2} = I \cdot \varepsilon + f \cdot N \cdot R = 0,050044 \cdot \frac{\pi}{4} + 0,15 \cdot 267,48 \cdot 0,22 = 8,86 \text{ N m} \quad (16.6)$$

Pro pohon otáčení hořáku volím krokový motor - Stepper Motor Size NEMA 34 (Příloha č. 2)



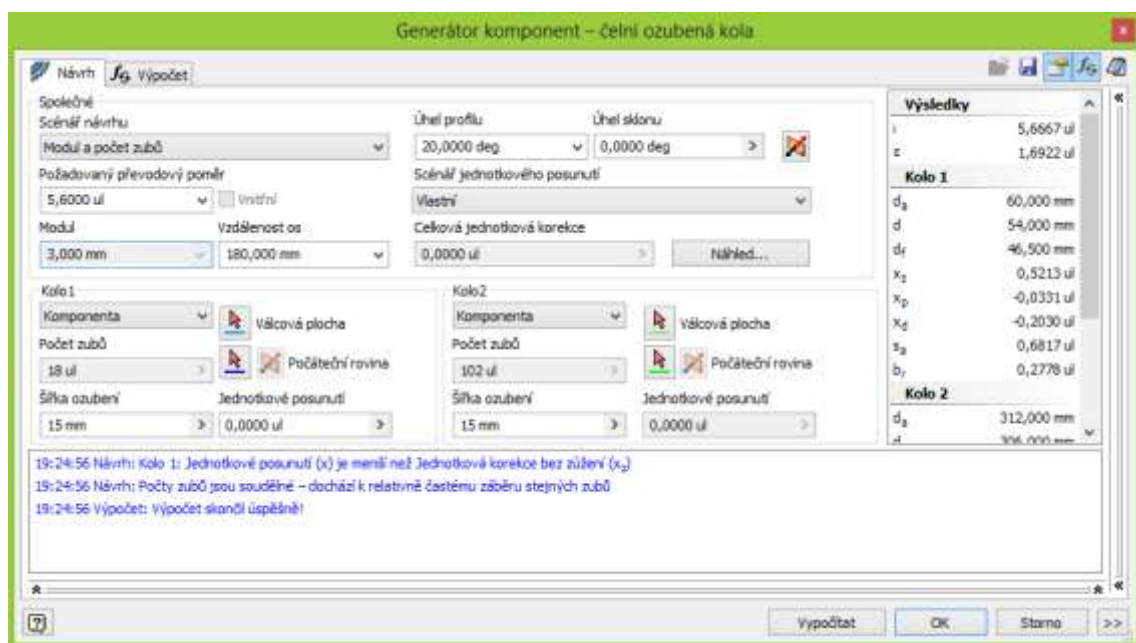
Obrázek 58. Výpočet ozubeného soukolí pro náklon hořáku

16.4. Ozubení otáčení hořáku

Ozubení otáčení hořáku je navrhováno a spočítáno pomocí generátoru komponent v programu Inventor Professional 2013. Rozměry ozubeného převodu vychází z požadavků sestavy a požadavku na přenesení potřebného momentu motoru $M_{H2}=9,1$ Nm.

Volím čelní ozubené soukolí (obr. 59.) s převodovým poměrem $i=5,6$; modul $m=3$; počet zubů pastorku $Z1=18$; počet zubů velkého kola $Z2=102$; šířka zubů $b=15$ mm.

Z výpočtu (obr. 60.) je patrné, že pastorek přenese 15,9 Nm, tudíž vyhovuje podmínce pro přenesení potřebného momentu motoru M_{H2} .



Obrázek 59. Návrh ozubeného soukolí pro otáčení hořáku

Generátor komponent – čelní ozubená kola

Návrh

Výpočet

Metoda pevnostního výpočtu

ISO 6336:1996

Zatížení

	Kolo 1	Kolo 2
Výkon	P 1,000 kW	0,980 kW
Otáčky	n 600 rpm	105,88 rpm
Krouticí moment	T 15,915 N m	88,384 N m
Účinnost	η 0,980 ul	

Materiálové hodnoty

Kolo 1	<input type="checkbox"/> Vlastní	...
Kolo 2	<input type="checkbox"/> Vlastní	...
Mez únavy v ohybu	σ_{Flim} 352,0 MPa	352,0 MPa
Mez únavy v dotyku	σ_{Hlim} 1140,0 MPa	1140,0 MPa
Modul pružnosti	E 206000 MPa	206000 MPa
Poissonova konstanta	μ 0,300 ul	0,300 ul
Tepelné zpracování	2 ul	2 ul

Požadovaná životnost

L_h 10000 hr

Součinitelé

Přesnost

19:24:56 Návrh: Kolo 1: Jednotkové posunutí (x) je menší než Jednotková korekce bez zúžení (x_z)

19:24:56 Návrh: Počty zubů jsou soudělné – dochází k relativně častému záběru stejných zubů

19:24:56 Výpočet: Výpočet skončil úspěšně!

Vypočítat

OK

Storno

>>

Výsledky

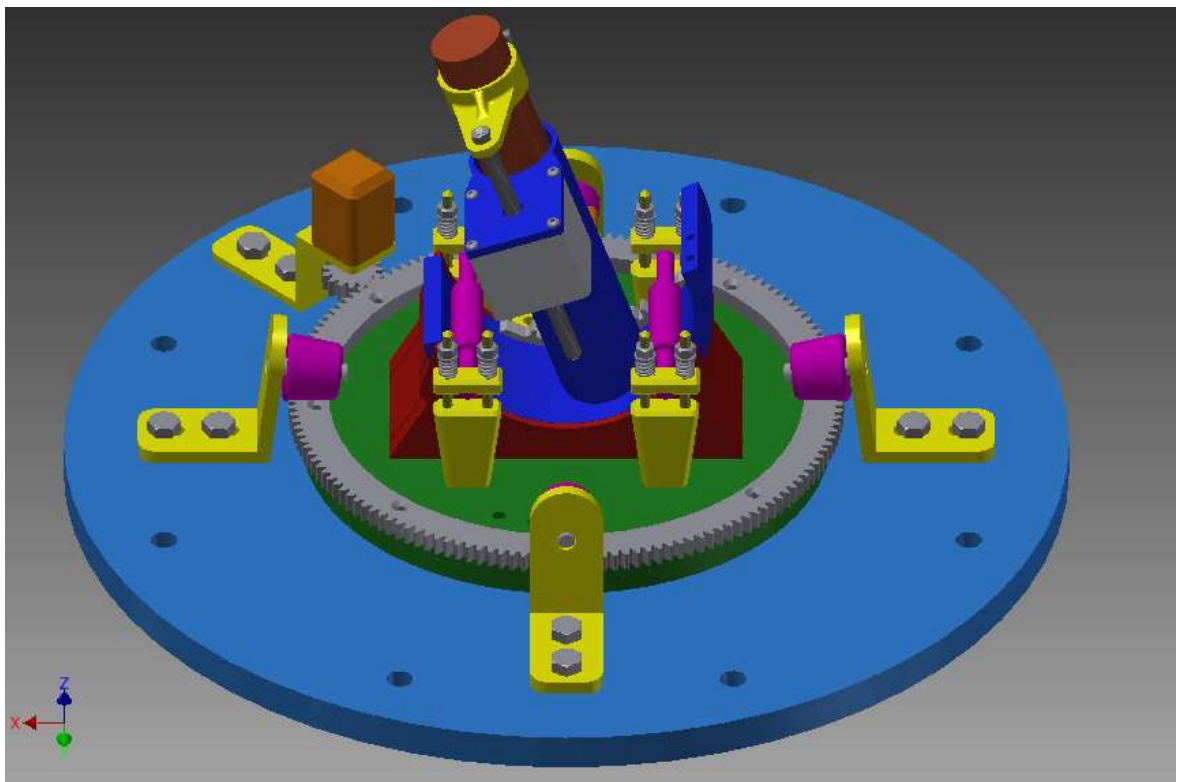
F _t	589,463 N
F _r	214,547 N
F _a	0,000 N
F _n	627,293 N
v	1,696 mps
n _{E1}	24594,010 rpm
Kolo 1	
S _H	1,474 ul
S _F	4,068 ul
S _{Hst}	1,341 ul
S _{Fst}	8,733 ul
Kolo 2	
S _H	1,718 ul
S _F	4,667 ul
S _{Hst}	1,494 ul
S _{Fst}	9,824 ul

Obrázek 60. Výpočet ozubeného soukolí pro otáčení hořáku

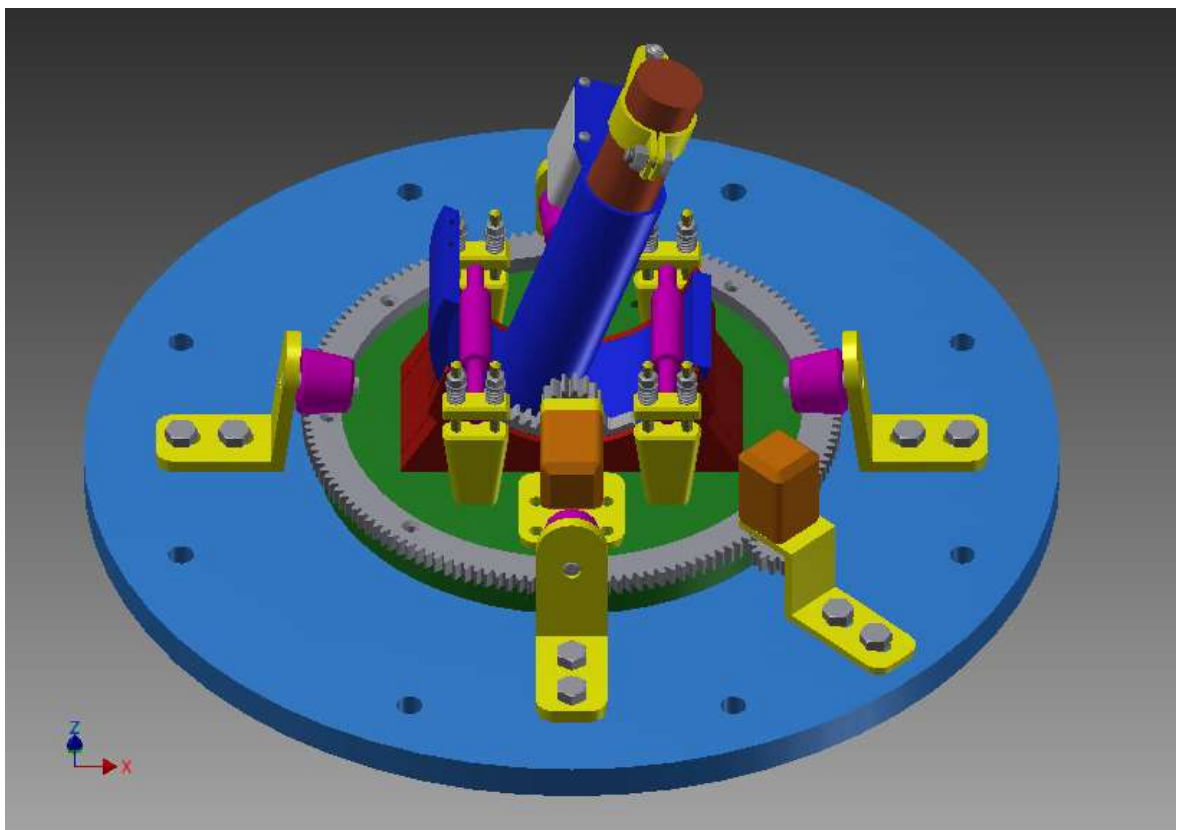
16.5. Zdvih hořáku

Zdvih hořáku je zajištěn lineárním krokovým motorem NENA 34 (Příloha č. 1). Podmínkou je, že síla motoru musí být větší než hmotnostní síla hořáku s příslušenstvím ($F_{hoř}=175\text{ N}$), hodnota z programu Inventor.

17. Úplná stavební struktura



Obrázek 61. Přední pohled – víka tavící komory



Obrázek 62. Zadní pohled – víka tavící komory

18. Technická specifikace

Víko je vyrobeno ze dvou výpalků, mezi které je přivařen svařovací drát o průměru 4mm, který tvoří kanál pro chladicí kapalinu. Díly jsou spojeny po obvodu pomocí svaru jak zevně tak zevnitř. Materiál víka je ČSN 17 246. Víko je přitlačováno pomocí 4 přitlačných válečků ke stropu tavící komory. Vstupy a výstupy pro chladicí kapalinu jsou na rychlospojku.

Na horní stranu víka je přišroubován ozubený věnec, pomocí kterého otáčí celým mechanismem krokový motor – Stepper Motor Size NEMÁ 34. Na horní straně víka je rovněž přivařen domek pro vedení válcové plochy. Válcová plocha je opatřena trubicí pro vedení hořáku a chladicím kanálem obdobně jak u víka.

Válcová plocha je přitlačována k domku párem válečků, které přitlačuje 8 tlačných pružin tak, aby nedocházelo k odklápění válcové plochy od styčné plochy domu i při maximálním náklonu hořáku. Síla Tlačných pružin může být regulována přitažením matic, které pružiny upínají. Náklon a stabilizaci hořáku v požadované poloze zabezpečuje krokový motor - Stepper Motor Size NEMÁ 34, který tak činní skrze ozubený věnec připevněný k válcové ploše. Zdvih hořáku je zajištěn lineárním krokovým motorem - Stepper Actuator NEMÁ 34, který je k hořáku pomocí objímky.

19. Závěr

Po seznámení se s problematikou, sepsáním seznamu požadavků a sestavení schématu transformačního procesu jsem zvolil variantu řešení. Návrh konečného řešení jsem nejdříve rozpracoval v hrubé stavební struktuře. Z té jsem vycházel až do úplné stavební struktury, jejímž výsledkem je 3D model celého zařízení namodelován v prostředí programu Autodesk Inventor 2013. Při vypracovávání mé práce jsem se setkal s poměrně zajímavými tématy spojenými s touto problematikou.

20. Seznam použité literatury

Knihy a skripta

- [I] HUBKA Vladimír, Konstrukční Nauka, obecný model při konstruování, 2 přepracované a doplněné vydání. Vyd. 1995. 118s. ISBN 80-90 1135-0-8
- [II] NOGA Z. a JABLONSKÝ D.: Návrh laboratorního krystalizátoru pro kontislitky Ti-Ni slitin. In v Miedzynarodowa Sesja Naukowa, Nowe technologie i osiagniecia w metalurgii i inżynierii materialowej, Politechnika Czestochowska Polska, Wydział inżynierii procesowej, materialowej i fizyki stosowanej, 2004. s. 503 – 506, ISBN 83-87745-37-5.
- [III] VOMOČIL Z. a JUREČKA Z., Cvičení do sdílení tepla a proudění. Vysoká škola Báňská - Technická Univerzita Ostrava, 2005. 100 s. ISBN 80-7078-793-7.
- [IV] PŘÍHODA Miroslav a Miroslav RÉDR. Sdílení tepla a proudění. Vysoká škola Báňská - Technická Univerzita Ostrava, 1998. 177 s. ISBN 80-7078-549-7.
- [V] HOLEČEK Oldřich a ŠNITA Dalimil. Sdílení tepla, výpočtové vztahy. 24 s. Dostupné z: <http://www.vscht.cz/uchi/ped/chi/chi.ii.ulohy.k11.sdileni.tepla.pdf>
- [VI] NOGA Z., Odborné konzultace, Vysoká škola Báňská - Technická Univerzita Ostrava, 2013 / 2014
- [VII] BUJNOCH P., Bakalářská práce, Víko tavící komory, Vysoká škola Báňská - Technická Univerzita Ostrava, 2013
- [VIII] LEINVEBER J. a VÁVRA P., Strojnické tabulky. Albra – pedagogické nakladatelství, Úvaly, 2003. 865 s. ISBN 80-86490-74-2.
- [IX] HUBÁČEK J.: Plazmový hořák, bakalářská práce. Vysoká škola Báňská - Technická Univerzita Ostrava, 2010. s. 34.

Použité internetové odkazy

- [1] Aplikace plazmového hořáku na kotel PG350 P. Kočvarová, M. Kozubková, VŠB-TU OSTRAVA [online]. [cit. 2013-12-12] Dostupné z: http://www.ansys.stuba.sk/ansys2009/prednasky/prispevky/vsb_kocvarova.pdf
- [2] Těsnění Hartman [online]. [cit. 201-12-12] Dostupné z: <http://www.hartman.cz/?page=nabidka>
- [3] Plstěné těsnění – Arkov, [online]. [cit. 2013-12-12] Dostupné z: <http://zbozi.arkov.cz/i/32924-tesneni-plstene-85x103x75-csn-023655-tesneni-plstene.html>
- [4] Grafitové těsnění, Těsnění Guschu [online]. [cit. 2013-12-12] Dostupné z: <http://www.guschu.cz/produkty/tesneni-armatury/>

- [5] Ozubený hřeben a pastorek, TechnoPark, [online]. [cit. 2013-12-20] Dostupné z: <http://www.techpark.sk/technika-92009/novinky-v-oblasti-linearni-techniky.html>
- [6] Lineární akuátor, Linak, [online]. [cit. 2013-12-20] Dostupné z: <http://www.linak.cz/products/linear-actuators.aspx?product=La34>
- [7] Úsporné pneumatické válce, MM Průmyslové spektrum, [online]. [cit. 2013-12-20] Dostupné z: <http://www.mmspektrum.com/clanek/usporne-pneumaticke-valce.html>
- [8] Hydraulické válce, HSG, [online]. [cit. 2013-12-20] Dostupné z: <http://www.hydraulicsystemsgroup.com/?q=cs/Valce>
- [9] Servo-Drive rotační a lineární pohony a technologie [online]. [cit. 2013-12-20]. Dostupné z: <http://www.servo-drive.com/>
- [10] Kulový kloub se třemi stupni volnosti, MM Průmyslové spektrum, [online]. [cit. 2013-12-20] Dostupné z: <http://www.mmspektrum.com/clanek/kulovy-kloub-se-tremi-stupni-volnosti.html>
- [11] Hodnoty vody a vzduchu pro výpočet prostupu tepla, TZB info, [online]. [cit. 2014-05-05] Dostupné z: <http://vytapani.tzb-info.cz/tabulky-a-vypocty/55-hodnoty-vody-a-vzduchu-pro-vypocet-prestupu-tepla>

21. Seznam obrázků

<i>Obrázek 1. Princip působení nízkoteplotní plazmy na primární směs [1]</i>	11
<i>Obrázek 2. Silikonové těsnění [2]</i>	12
<i>Obrázek 3. Technická pryž, O-krouže [2]</i>	12
<i>Obrázek 4. Expandovaný grafit[4]</i>	12
<i>Obrázek 5. Plstěné těsnění [3]</i>	12
<i>Obrázek 6. Ozubený hřeben[5]</i>	13
<i>Obrázek 7. Lineární aktuátor[6]</i>	13
<i>Obrázek 8. Pneumatický válec[7]</i>	13
<i>Obrázek 9. Hydraulický válec [8]</i>	14
<i>Obrázek 10 Krokový motor s lineárním posuvem [9]</i>	14
<i>Obrázek 11. Schéma natočení + pootočení</i>	14
<i>Obrázek 12. Schéma sférická rotace</i>	14
<i>Obrázek 13. Kulový kloub se dvěma stupni volnosti [10]</i>	15
<i>Obrázek 14. Prototyp kulového kloubu[10]</i>	15
<i>Obrázek 15. Blokové schéma technického procesu [I]</i>	19
<i>Obrázek 16. Blokové schéma technického procesu [I]</i>	19
<i>Obrázek 17. Blokové schéma funkční struktury [I]</i>	20
<i>Obrázek 18. Schéma hierarchický funkční strom [I]</i>	21
<i>Obrázek 19. Schéma varianty 1</i>	24
<i>Obrázek 20. Koncept varianty 1 (v programu Autodesk Inventor Professiona 2013)</i>	24
<i>Obrázek 21. Schéma varianty 2</i>	25

Obrázek 22. Koncept varianty 2 (v programu Autodesk Inventor Professiona 2013)	25
Obrázek 23. Schéma varianty 3.....	26
Obrázek 24. Koncept varianty 3 (v programu Autodesk Inventor Professiona 2013)	26
Obrázek 25. Schéma varianty 4.....	27
Obrázek 26. Model kloubu se dvěma stupni volnosti [10]	27
Obrázek 27. Schéma s popisem základních komponent vybrané varianty	29
Obrázek 28. Schéma odvodu tepelné energie z pece [II].....	30
Obrázek 29. Schéma ploch vystavených tepelné energii.....	31
Obrázek 30. Schéma kanálu ve stropu pece.....	36
Obrázek 31. Schéma kanálu ve víku	43
Obrázek 32. Schéma kanálu ve válcové ploše	49
Obrázek 33. Sestava - čelní pohled.....	52
Obrázek 34. Sestava - zadní pohled	52
Obrázek 35. Sestava v řezu	53
Obrázek 36. Celkové schéma inovovaného plazmového hořáku [IX]	53
Obrázek 37. Sestava v řezu – soustava hadic a kabelů k hořáku – náhradní příslušenství.....	54
Obrázek 38. Sestava – zadní pohled – s náhradním příslušenstvím.....	54
Obrázek 39. Sestava – zadní pohled – základní silová rozvaha	55
Obrázek 40. Zjednodušený model sestavy pro výpočet	56
Obrázek 41. Schéma použitých vazeb pro výpočet	57
Obrázek 42. Schéma použitých doteků pro výpočet	57
Obrázek 43. Schéma definování sítě	58
Obrázek 44. Výsledek pevnostní analýzy – Max. napětí	59
Obrázek 45. Výsledek pevnostní analýzy – Max. posunutí.....	60
Obrázek 46. Výsledek pevnostní analýzy – Max. stykový tlak.....	61
Obrázek 47. Výsledek pevnostní analýzy – reakce ve vazbách	62
Obrázek 48. Schéma působení síly F2	63
Obrázek 49. Návrh tlačné pružiny	63
Obrázek 50. Výpočet pružiny v programu Inventor Professional 2013	64
Obrázek 51. Schéma - průmět těžiště do podstavý	64
Obrázek 52. Návrh talířové pružiny.....	65
Obrázek 53. Výpočet talířové pružiny	65
Obrázek 54. Charakteristika talířové pružiny [VIII]	65
Obrázek 55. Schéma momentů k ose motoru naklápění	66
Obrázek 56. Návrh ozubeného soukolí pro náklon hořáku	67
Obrázek 57. Výpočet ozubeného soukolí pro náklon hořáku	67
Obrázek 58. Výpočet ozubeného soukolí pro náklon hořáku	68
Obrázek 59. Návrh ozubeného soukolí pro otáčení hořáku	69
Obrázek 60. Výpočet ozubeného soukolí pro otáčení hořáku	70
Obrázek 61. Přední pohled – víka tavící komory	71
Obrázek 62. Zadní pohled – víka tavící komory	71

22. Seznam tabulek

<i>Tabulka 1. Požadavkový list</i>	<i>17</i>
<i>Tabulka 2. Orgánová struktura [I].....</i>	<i>22</i>
<i>Tabulka 3. Orgánová struktura- shrnutí [I]</i>	<i>23</i>
<i>Tabulka 4. zhodnocení vybraných variant [I]</i>	<i>28</i>
<i>Tabulka 5. Výsledky kolorimetrického měření plazmové pece s plazmovým obloukem stabilizovaným argonem o průtoku 15 l·min⁻¹ [II]</i>	<i>30</i>
<i>Tabulka 6. Zvolené veličiny.....</i>	<i>33</i>
<i>Tabulka 7. Materiálové vlastnosti [12]</i>	<i>33</i>

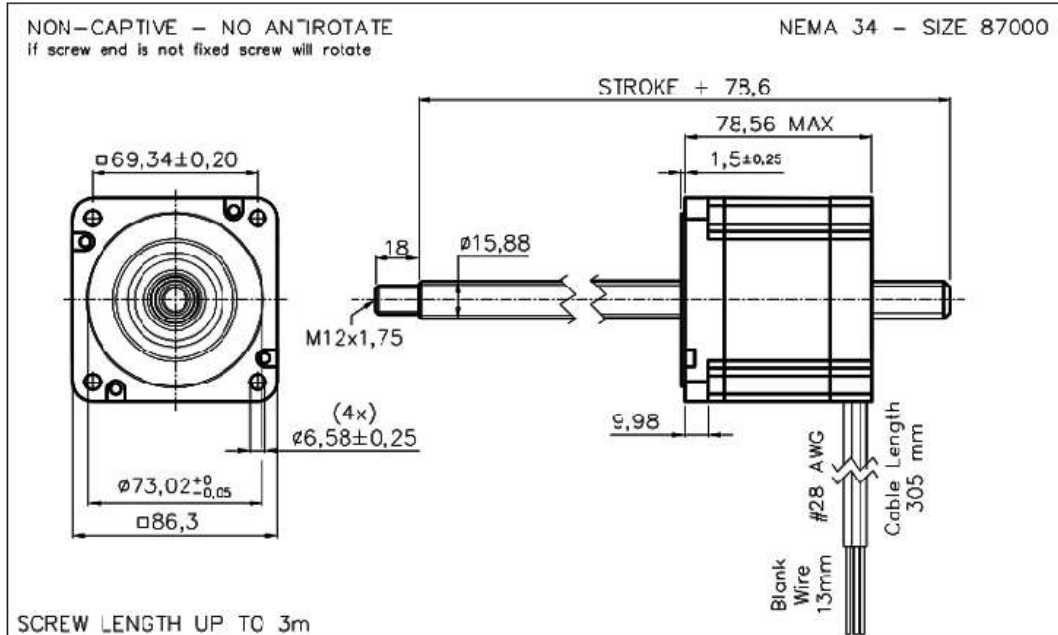
23. Seznam příloh

Příloha 1. Krokový lineární motor – NEMA 34	77
Příloha 2. Krokový rotační motor – NEMA 34	78
Příloha 3. Těsnění O-kroužek	79
Příloha 4. Fitinky.....	80
Příloha 5. Výkresová dokumentace (výkres sestavení, výrobní výkresy)	
Příloha 6. CD	

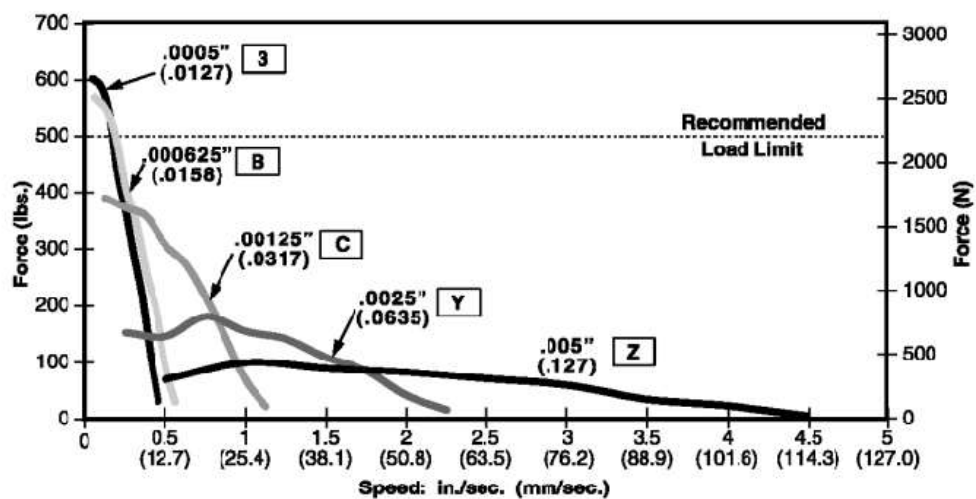
Příloha 1. Krokový lineární motor – NEMA 34

Series 87000 - Stepper actuator - NEMA 34

Captive	87H4(X)-V	Order Code	Linear Travel
Non-captive	87F4(X)-V	-	mm/step
External Lin	E87H4(X)-V	3	0,0127
Wiring	Bipolar	B	0,0158
Operating voltage	2,85 VDC 5 VDC 12 VDC	C	0,0317
Current/phase	5,47 A 3,12 A 1,3 A	Y	0,0635
Resistance/phase	0,52 Ohm 1,6 Ohm 9,23 Ohm	Z	0,127
Inductance/phase	2,86 mH 8,8 mH 51 mH		
Power consumption	31,2 W		
Rotor inertia	1760 gcm ²		
Temperature rise	75°C Rise		
Weight	2,3 Kg		
Insulation resistance	20 MOhm		

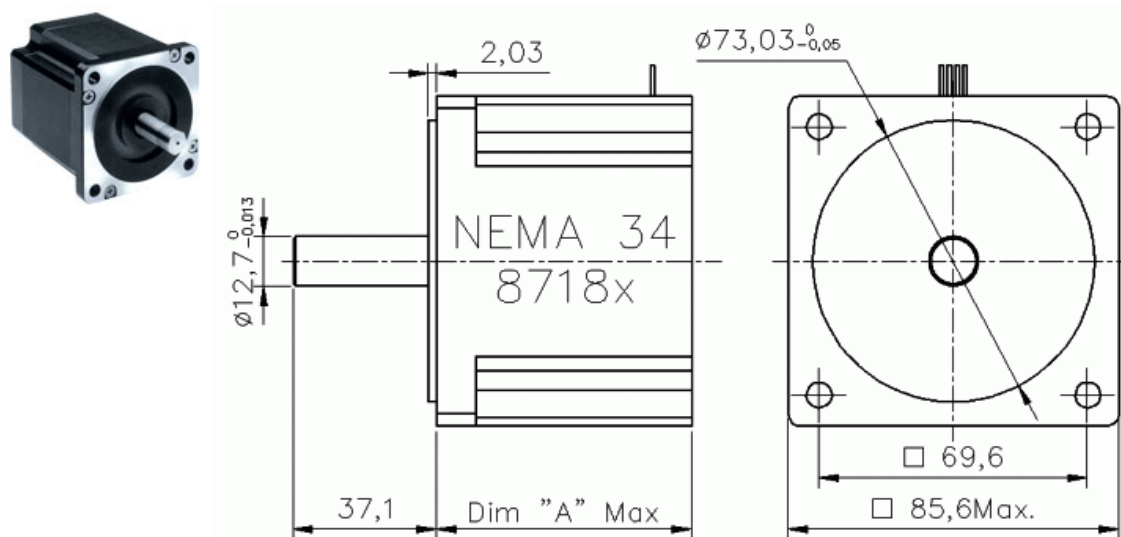


FORCE vs. LINEAR VELOCITY Bipolar • Chopper • 100% Duty Cycle Ø .625 (15.88) Leadscrew



Příloha 2. Krokový rotační motor – NEMA 34










Stepper Motor Size NEMA 34 - 0,9 and 1,8 Degrees step angle



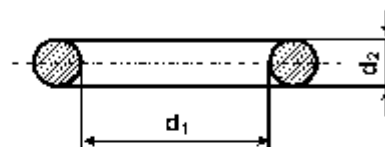
Length A	Model Number	Current per phase	Holding Torque	Resistance per phase	Inductance per phase	Inertia	Weight	Number of Leads	Request a Qoute
mm	-	A	Nm	Ohm	mH	kg.cm ²	kg	-	⇒
67,1	8718S-01S	1,4	3,06	4,7	26,4	1,40178	1,745975	4	⇒
67,1	8718S-01P	2,8	3,06	1,2	6,6	1,40178	1,745975	4	⇒
67,1	8718S-03S	2,1	3,06	2	14	1,40178	1,745975	4	⇒
67,1	8718S-03P	4,2	3,06	0,5	3,5	1,40178	1,745975	4	⇒
67,1	8718S-05S	3,15	3,06	1	6,1	1,40178	1,745975	4	⇒
67,1	8718S-05P	6,3	3,06	0,3	1,5	1,40178	1,745975	4	⇒
97	8718M-04S	1,4	6,08	6,7	64,5	2,7084	2,69379	4	⇒
97	8718M-04P	2,8	6,08	1,7	16,1	2,7084	2,69379	4	⇒
97	8718M-06S	2,1	6,08	2,5	23,6	2,7084	2,69379	4	⇒
97	8718M-06P	4,2	6,08	0,6	5,9	2,7084	2,69379	4	⇒
97	8718M-16S	3,15	6,08	1,2	8,3	2,7084	2,69379	4	⇒
97	8718M-16P	6,3	6,08	0,3	2,1	2,7084	2,69379	4	⇒
127	8718L-02S	1,4	9,1	7,5	78,1	4,0077	3,82754	4	⇒
127	8718L-02P	2,8	9,1	1,9	19,5	4,0077	3,82754	4	⇒
127	8718L-04S	3,15	9,1	1,9	16,6	4,0077	3,82754	4	⇒
127	8718L-04P	6,3	9,1	0,5	4,1	4,0077	3,82754	4	⇒
127	8718L-08S	3,85	9,1	1,2	10,8	4,0077	3,82754	4	⇒
127	8718L-08P	7,7	9,1	0,3	2,7	4,0077	3,82754	4	⇒

Příloha 3. Těsnění O-kroužek

Těsnění okolo hořáku volím (viz. Tabulka) – O kroužek 40x 4FPM80

	O-kroužky, X-kroužky a Usit-kroužky		Hřídelová těsnění, V-kroužky, těsnící		Hydraulická těsnění, stírací kr. a vodící
	Technická pryž, pogumování válců		Pryžotextilní výrobky, vlnovce		Silentbloky - pružiny
	Pryžové profily, desky, fólie		Klínové řemeny		Velopláště a veloduše

O-KROUŽKY



Výsledek hledání podle parametrů

Kód	Název produktu	Vni. průměr kroužku (d1)	Síla stěny (d2)	Materiál	Cena bez DPH/J
56229	O-kroužek 40x 4 FPM80 (DIN3770)	40	4	FPM80	
60184	O-kroužek 40x 4 MVQ70 (DIN3771)	40	4	MVQ70	
50432	O-kroužek 40x 4 NBR.70 (DIN3770)	40	4	NBR.70	
55439	O-kroužek 40x 4 NBR90 (DIN3770)	40	4	NBR90	

Těsnění mezi víko a strop pece volím

Kód	Název produktu	Vni. průměr kroužku (d1)	Síla stěny (d2)	Materiál	Cena bez DPH/J
53442	O-kroužek 230x 4 EPDM70 (DIN3771)	230	4	EPDM70	
52250	O-kroužek 230x 4 NBR.70 (DIN3771)	230	4	NBR.70	

Příloha 4. Fitinky

PI19C long swivel male elbow - conical thread

	Ø	D1	D2	L1	L2	L3	CH	weight [g]	type
	4	R1/8"	9,7	7,5	25,5	15	10	8	PI19C-04-18-P-T-360
	4	R1/4"	9,7	11	29	15	14	13	PI19C-04-14-P-T-360
	6	R1/8"	12	7,5	29,5	19	12	13	PI19C-06-18-P-T-360
	6	R1/4"	12	11	33	19	14	17	PI19C-06-14-P-T-360
	8	R1/8"	14	7,5	33	20,5	14	20	PI19C-08-18-P-T-360
	8	R1/4"	14	11	36,5	20,5	14	21	PI19C-08-14-P-T-360
	8	R3/8"	14	11,5	38	20,5	17	25	PI19C-08-38-P-T-360
	10	R1/4"	16,5	11	41,5	23,5	18	32	PI19C-10-14-P-T-360
	10	R3/8"	16,5	11,5	42,5	23,5	17	31	PI19C-10-38-P-T-360